

628,31(82)

P 75

15332

=1 53 32

UTN

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Concepción del Uruguay

“Análisis y Caracterización de los sistemas de
tratamientos de efluentes cloacales de las
localidades de la costa del Río Uruguay, Provincia
de Entre Ríos”

UTN - FRCU Dpto. Biblioteca

Proyecto final : Análisis y caracterizac



15332

Proyecto Final

Ingeniera Civil

FACULTAD REGIONAL CONCEPCION DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL
MONUMENTO HISTORICO NACIONAL

TEL: (0343) 423541 / 423603
ING. PEREYRA 570 - EX-26810 - CONCEPCION DEL URUGUAY
ENTRE RIOS - REP. ARGENTINA

Alumnos: *Patricio Busatto
Laureano Cergneux
Lorena Santoni*

Tutores: *Lic. Julio Cardini
Ing. Alejandro Zabalet*

Docentes: *Ing. Humberto Torresan
Arq. Arturo Mardon*

Concepción del Uruguay

Diciembre de 2009





-1 53 32

Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Alcance.....	2
1.3. Metodología de estudio.....	2
1.4. Justificación.....	3
1.5. Síntesis del contenido.....	3
Capítulo 2. Marco Teórico.....	5
2.1. Contexto mundial en cuanto a saneamiento.....	6
2.1.1. África.....	6
2.1.2. Oriente Medio y África del Norte.....	7
2.1.3. Asia.....	7
2.1.4. Europa.....	7
2.1.5. América Latina y el Caribe.....	8
2.2. Futuro en el tratamiento de aguas residuales en la región.....	10
2.3. Discusión acerca de la metodología a aplicar.....	11
2.4. Características de las aguas residuales.....	13
2.4.1. Características físicas.....	15
2.4.2. Características químicas: definición y aplicación.....	18
2.4.3. Características biológicas: definición y aplicación.....	22
2.5. Clasificación de los métodos de tratamiento de las aguas residuales.....	24
2.5.1. Aplicación de los métodos de tratamiento.....	24
2.6. Operaciones y procesos unitarios.....	25
2.6.1. Operaciones físicas unitarias.....	25
2.6.2. Procesos químicos unitarios.....	33
2.6.3. Procesos Biológicos Unitarios.....	39
2.7. Proyecto de instalaciones para procesos físicos y químicos.....	47
2.7.1. Rejas de barras y tamices.....	47
2.7.2. Rejas de barras.....	48
2.7.3. Dilaceración.....	50
2.7.4. Eliminación de arenas.....	50
2.7.5. Otras operaciones de pretratamiento.....	52
2.7.6. Tanque de decantación primaria.....	53
2.8. Proyecto de instalaciones para el tratamiento biológico del agua residual.....	58
2.8.1. Procesos de Fangos Activados.....	59
2.8.2. Selección y diseño de las instalaciones físicas para el proceso de fangos activados.....	59
2.8.3. Lagunas Aireadas.....	61
2.8.4. Filtros percoladores.....	61
2.8.5. Contactores Biológicos Rotativos (RBCs).....	62
2.8.6. Procesos combinados de tratamientos aerobios.....	63
2.8.7. Estanques de estabilización.....	64
2.9. Diseño de instalaciones para el tratamiento y vertido del fango.....	66
2.9.1. Procedencia, cantidad y características del fango.....	66
2.9.2. Bombeo de fangos y espumas.....	67
2.9.3. Operaciones de pretratamiento.....	67
2.9.4. Espesado (concentración).....	69
2.9.5. Estabilización.....	70
2.9.6. Digestión anaerobia del fango.....	71
2.9.7. Digestión aerobia del fango.....	75



2.9.8.	Compostaje.....	77
2.9.9.	Acondicionamiento.....	80
2.9.10.	Desinfección.....	81
2.9.11.	Deshidratación.....	82
2.9.12.	Secado térmico.....	82
2.9.13.	Reducción térmica.....	83
2.9.14.	El problema de los barros en Europa.....	84
2.9.15.	Conclusión.....	85
2.10.	Reúso de agua residual.....	86
2.10.1.	Introducción.....	86
2.10.2.	Ventajas y limitaciones.....	88
2.10.3.	Salud pública.....	90
2.10.4.	Revisión mundial de reutilización de aguas residuales.....	90
2.10.5.	Discusión sobre el reúso del agua residual.....	91
2.11.	Avances y nuevos sistemas en el tratamiento de aguas residuales.....	91
2.11.1.	Sedimentador compacto.....	92
2.11.2.	Sistemas electroquímicos y fotoquímicos para el tratamiento de aguas residuales.....	93
2.11.3.	Tratamiento por rayos UV.....	94
2.11.4.	Oxidación catalítica por aire húmedo.....	95
2.11.5.	Depuradoras para Tratamiento de Aguas Residuales.....	97
2.11.6.	Sistema de tratamiento compacto.....	98
2.11.7.	La utilización de membranas.....	100
2.11.8.	Sistema TOHÁ.....	102
2.12.	Tratamientos de los residuos sólidos.....	109
2.12.1.	Definición de residuos y generación.....	111
2.12.2.	Disposición final.....	111
2.12.3.	Efectos de la inadecuada gestión de residuos sólidos.....	112
2.12.4.	Efectos en el ambiente.....	113
2.12.5.	Rellenos sanitarios.....	114
2.12.6.	Diferencias entre basureros a cielo abierto y rellenos sanitarios.....	115
Capítulo 3.	Caracterización del sistema de tratamiento de efluentes cloacales de la ciudad de Gualaguaychú.....	117
3.1.	Características de la ciudad de emplazamiento.....	117
3.1.1.	Ubicación geográfica.....	117
3.1.2.	Relieve.....	117
3.1.3.	Clima.....	117
3.1.4.	Flora Y Fauna.....	117
3.1.5.	Población.....	117
3.1.6.	Actividades económicas e industriales.....	118
3.1.7.	Características hidrográficas.....	118
3.2.	Antecedentes del tratamiento de aguas residuales.....	119
3.2.1.	Registro de tratamientos a través del tiempo.....	120
3.3.	Sistema actual de tratamiento.....	123
3.3.1.	Objetivos de la planta.....	124
3.3.2.	Ubicación.....	124
3.3.3.	Análisis poblacional y de diseño.....	126
3.3.4.	Justificación del proceso elegido.....	127



3.3.5.	Sistema de tratamiento elegido	128
3.4.	Análisis de funcionamiento de planta	137
3.4.1.	Análisis de calidad de agua	138
3.4.2.	Personal	139
3.4.3.	Problemática de su funcionamiento.....	140
Capítulo 4.	Caracterización del sistema de tratamiento de efluentes cloacales de la ciudad de Colon.....	145
4.1.	Características de la ciudad de emplazamiento	145
4.1.1.	Ubicación geográfica	145
4.1.2.	Clima	145
4.1.3.	Población.....	145
4.1.4.	Actividades económicas e industriales	145
4.1.5.	Características hidrográficas	146
4.2.	Sistema actual de tratamiento	147
4.2.1.	Objetivos de la planta	147
4.2.2.	Ubicación.....	147
4.2.3.	Procesos	148
4.2.4.	Descripción de los sistemas	149
4.2.5.	Problemática de su funcionamiento.....	153
4.2.6.	Mantenimiento.....	153
4.2.7.	Personal	155
4.2.8.	Residuos	156
Capítulo 5.	Caracterización del sistema de tratamiento de efluentes cloacales de la ciudad de Federación.....	157
5.1.	Características de la ciudad de emplazamiento.....	157
5.1.1.	Ubicación geográfica.....	157
5.1.2.	Clima.....	158
5.1.3.	Población.....	158
5.1.4.	Actividades económicas e industriales.....	158
5.2.	Sistema actual de tratamiento.....	158
5.2.1.	Ubicación.....	158
5.2.2.	Análisis poblacional y de diseño.....	159
5.3.	Sistema de tratamiento adoptado.....	160
5.3.1.	Procesos.....	160
5.3.2.	Análisis para implementación futura de nuevos procesos.....	174
5.3.3.	Sistema elegido para ampliación de planta	177
5.4.	Análisis de funcionamiento de planta.....	186
5.4.1.	Mantenimiento.....	186
5.4.2.	Personal.....	193
5.4.3.	Residuos.....	194
Capítulo 6.	Caracterización del sistema de tratamiento de efluentes cloacales de la ciudad de Chajarí.....	196
6.1.	Características de la ciudad de emplazamiento	196
6.1.1.	Ubicación geográfica	196
6.1.2.	Clima	196
6.1.3.	Población.....	196
6.1.4.	Actividades económicas e industriales	196
6.2.	Características hidrográficas	196
6.3.	Antecedentes del tratamiento de aguas residuales	197



6.4.	Sistema actual de tratamiento.....	198
6.4.1.	Objetivos de la planta	198
6.4.2.	Ubicación	198
6.4.3.	Análisis poblacional y de diseño	200
6.4.4.	Descripción de los sistemas	201
6.4.5.	Clasificación.....	201
6.4.6.	Diseño y datos de proyecto	202
6.4.7.	Sistema Oeste	202
6.4.8.	Sistema Este.....	205
6.4.9.	Problemática de su funcionamiento	208
6.4.10.	Mantenimiento.	209
6.4.11.	Personal.....	211
6.4.12.	Residuos.....	211
6.4.13.	Presupuesto.....	211
Capítulo 7.	Análisis de Ensayos de Calidad de Aguas.....	213
7.1.	Calidad de las aguas residuales de la ciudad de Colón.....	214
7.1.1.	Puntos de muestreo.....	214
7.1.2.	Ensayo de DBO ₅	214
7.1.3.	Ensayo de sólido sedimentables en dos horas y diez minutos.....	216
7.1.4.	Ensayo de Coliformes Fecales	218
7.2.	Calidad de las aguas residuales de la ciudad de Chajarí.....	218
7.2.1.	Puntos de muestreo.....	218
7.2.2.	Ensayo de DBO ₅	219
7.2.3.	Ensayo de sólido sedimentables en dos horas y diez minutos.....	221
7.2.4.	Ensayo de Coliformes Fecales	224
7.3.	Calidad de las aguas residuales de la ciudad de Federación	224
7.3.1.	Puntos de muestreo.....	224
7.3.2.	Ensayo de DBO ₅	225
7.3.3.	Ensayo sólidos sedimentables en 2 horas.....	227
7.3.4.	Ensayo de Coliformes Fecales	227
7.4.	Calidad de las aguas residuales de la ciudad de Gualeguaychú.....	229
7.4.1.	Puntos de muestreo.....	229
7.4.2.	Ensayo de DBO ₅	229
7.4.3.	Ensayo sólidos sedimentables en 2 horas y 10 minutos.....	231
7.4.4.	Ensayo de Coliformes Fecales	233
Capítulo 8.	Análisis FODA, evaluación de situación y propuestas	235
8.1.	Caso de estudio, Gualeguaychú	235
8.1.1.	Descripción de factores y Matriz Plana FODA.....	235
8.1.2.	Análisis y Matriz de estrategias	246
8.1.3.	Desarrollo de alternativas	256
8.2.	Caso de estudio, Colón.....	270
8.2.1.	Descripción de factores y Matriz Plana FODA Colón.....	270
8.2.2.	Análisis y Matriz de estrategias Colón	274
8.2.3.	Desarrollo de alternativas	280
8.3.	Caso de estudio, Federación	288
8.3.1.	Descripción de factores y Matriz Plana FODA Federación.....	288
8.3.2.	Análisis y Matriz de estrategias	292
8.3.3.	Desarrollo de alternativas	298



8.4. Caso de estudio, Chajari	298
8.4.1. Descripción de factores y Matriz Plana FODA.....	298
8.4.2. Análisis y Matriz de estrategias	302
8.4.3. Desarrollo de alternativas	310
Capítulo 9. Conclusiones	319
9.1. Conclusiones Gualeguaychú	321
9.1.1. Análisis de DBO ₅	321
9.1.2. Sólidos Sedimentables	322
9.1.3. Análisis de Coliformes Fecales.....	322
9.2. Conclusiones Colon.....	323
9.2.1. Análisis de DBO ₅	324
9.2.2. Análisis de Sólidos Sedimentables.....	324
9.2.3. Análisis de Coliformes Fecales.....	325
9.3. Conclusiones Federación	325
9.3.1. Análisis de DBO ₅	326
9.3.2. Análisis de Sólidos Sedimentables.....	326
9.3.3. Análisis de Coliformes Fecales.....	327
9.4. Conclusiones Chajari.....	327
9.4.1. Sistema Oeste	329
9.4.2. Sistema Este	330
9.5. Conclusiones generales y discusión.....	331
Bibliografía	333
Índice de Figuras	335
Índice de Tablas.....	339
Índice de Gráficos	341

UTN - FRCU Dpto. Biblioteca

Proyecto final : Análisis y caracterizaci



15332

FACULTAD REGIONAL CONCEPCION DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
MONUMENTO HISTORICO NACIONAL

TEL/FAX: (03442) 423541 / 423503
Ing. PEREYRA 676 - E3264BTD - CONCEPCION DEL URUGUAY
ENTRE RIOS - REP. ARGENTINA



Capítulo 1. Introducción

La alteración que genera la actividad humana respecto del medio donde se desarrolla se conoce como impacto ambiental. Este último puede dar como resultado un cambio positivo o negativo en el ambiente, determinando así en qué grado afecta dicha actividad al entorno donde el hombre vive.

La provincia de Entre Ríos, por las características geográficas que la representan, está íntimamente vinculada con las actividades propias de los grandes cursos de aguas; en este caso de estudio, en contacto con el Río Uruguay.

La calidad de agua para las ciudades ribereñas, por ser uno de los factores más importantes que condicionan la vida de las poblaciones, resulta vital en el estudio del recurso natural, que como principales usos tiene el consumo humano y el uso como medio recreativo para los pobladores.

Por este motivo, en el marco del proyecto que lleva adelante el Grupo de Estudio del Río Uruguay (GERU), se han realizado estudios sobre calidad de agua en busca de determinar el impacto generado por los efluentes cloacales volcados al río por las comunidades que se asientan a su margen.

Como complemento de esta línea de investigación es necesario conocer los factores que afectan la calidad de los efluentes vertidos al río, respecto del origen de estos y en base a los tratamientos previos al volcado de los mismos, que condicionan finalmente el impacto que tendrán sobre el recurso natural.

Este trabajo de investigación, como proyecto final de carrera de grado y continuación de las tareas desarrolladas en el GERU estudia el tratamiento que le dan a las aguas residuales las comunidades costeras del Río Uruguay y que a continuación se detallan: Chajarí, Federación, Colón y Gualaguaychú.

En dichas localidades se realizan tareas de transformación de los efluentes, y en función de las características de cada ciudad se analiza el sistema de tratamiento empleado en cada caso para atenuar el efecto que produce el vuelco de este tipo de efluentes sobre el cuerpo receptor.

A partir del relevamiento y análisis de los sistemas empleados en cada localidad y de la vigencia tecnológica que estos presentan respecto de los métodos empleados en la actualidad, se pueden estimar si las medidas adoptadas de mitigación son suficientes para la población existente. Además se podrá contemplar que influencia tendrá el crecimiento poblacional según el sistema elegido originalmente.

El funcionamiento de cada planta de tratamiento es interpretado según los resultados de los análisis muestrales realizados en cada proceso del sistema y del efluente final. De esta manera se evaluará la eficiencia según las características propias de cada caso, además de determinar la evaluación global del sistema.



1.1. Objetivos

Este trabajo de investigación que se realiza en las ciudades costeras del Río Uruguay antes mencionadas, tiene como objetivo principal evaluar la eficiencia de los sistemas de tratamientos en función del análisis operacional de cada planta.

Como objetivo secundario se realiza un análisis de la disminución de carga contaminante a partir de datos muestrales de calidad de agua, buscando establecer una relación causa–efecto entre eficiencia y operatividad de los sistemas.

1.2. Alcance.

Se establecerá un análisis comparativo referido a las ventajas o desventajas de la implementación de cada tipo de sistema desde la consideración de fortalezas y debilidades que posea cada uno de ellos.

A partir del análisis se planteará una serie de alternativas en pos de mejorar las condiciones de operatividad de las plantas. Estas alternativas intentan dar una solución a las problemáticas estudiadas, utilizando para ello recursos existentes como así también la explotación de recursos alternativos. Estos últimos serán planteados en vista de los avances tecnológicos en el área y las nuevas tendencias mundiales para esta clase de tratamientos.

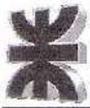
1.3. Metodología de estudio

Para lograr los objetivos planteados se sigue la metodología en base al método científico, utilizando las herramientas teóricas disponibles actualmente en el campo del desarrollo de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Para lo cual se utilizarán estrategias de investigación experimental, desde el punto de vista en que reproduce los hechos y fenómenos observados fijando condiciones que se suponen son del tipo de las que se representan en la realidad. Permite esto llegar a un conocimiento más íntimo de los fenómenos que se producen en la naturaleza estableciendo relaciones causa efecto, leyes y otras conexiones.

Se trata de una investigación aplicada, desarrollando aplicaciones del conocimiento científico existente dirigidas al estudio de casos; y según el nivel de conocimiento a obtener se trata de una investigación exploratoria y en algunos casos explicativa.

Principalmente para llevar adelante este trabajo de investigación, se realiza un estudio teórico sobre los distintos sistemas que actualmente se utilizan en el tratamiento de aguas residuales, según la bibliografía de mayor consulta sobre el tema, y a través de la recopilación de información disponible sobre nuevas técnicas para el tratamiento de los efluentes cloacales, comparando parámetros teóricos respecto de los adoptados en los sistemas reales, y verificando la correcta implementación de los mismos.

Se realiza como trabajo de campo una caracterización de los sistemas empleados en la costa del Río Uruguay de la provincia de Entre Ríos, a partir de sucesivas visitas y entrevistas con los actores de los distintos lugares, de modo de alcanzar el mayor flujo de información a través de los principales responsables de los sistemas, quienes



vuelquen con su experiencia, las tareas necesarias que se realizan para el funcionamiento de cada proceso y brinden el conocimiento de las virtudes y/o defectos de estos.

La información de campo es complementada mediante los análisis físico-químicos y microbiológicos de los efluentes crudos y tratados, junto a la incorporación de los registros de calidad de agua que puedan existir en cada localidad de estudio.

1.4. Justificación

Los autores de este trabajo de investigación desarrollaron tareas como becarios del Grupo de Estudio del Río Uruguay, donde se llevan adelante proyectos relacionados a la calidad de agua del Río Uruguay, y en función de esto se estudia la dispersión de contaminantes que son vertidos por industrias y municipios a lo largo de su recorrido en la Provincia de Entre Ríos.

Como complemento de estos trabajos realizados, se presenta esta investigación, que propone caracterizar los sistemas de tratamientos de efluentes cloacales empleados por los municipios ribereños del Río Uruguay, para mitigar el impacto que sus residuos provocan en el cuerpo receptor.

El conocimiento de las técnicas empleadas, así como el estado de las mismas son una herramienta importante para interpretar a fondo el tipo de efluente que se está vertiendo en el Río Uruguay y el impacto que estos generan en cuerpo receptor.

1.5. Síntesis del contenido

Este trabajo de investigación contiene como introducción al tema de los tratamientos de efluentes cloacales, el capítulo de Marco Teórico donde se desarrollan todas aquellas técnicas utilizadas a través del tiempo hasta las más actuales para la transformación de los efluentes comunales que son potencialmente contaminantes.

A través del estudio de las técnicas, se desarrolla en capítulos siguientes, el análisis de los distintos sistemas de tratamientos de efluentes cloacales de las localidades de estudio, Chajari, Federación, Colon y Gualeguaychú, respecto de su funcionamiento y de los procesos utilizados.

El análisis de funcionamiento de cada sistema es complementado con una serie de análisis de calidad de agua que permitan establecer relación entre el estado de los procesos y la calidad del efluente final.

Siguiendo la línea de desarrollo, se cotejan todos los datos recopilados en los capítulos citados anteriormente, a través de un análisis FODA, donde se interpreta en base a las virtudes y falencias de cada sistema, que procesos se podrían modificar o implementar con el fin de potenciar la transformación de efluente.



FACULTAD REGIONAL CONCEPCION DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL
MONUMENTO HISTORICO NACIONAL

TEL/FAX: (03640) 426641 / 426603
Ing. PEREYRA 676 - ENSENADA - CONCEPCION DEL URUGUAY
ENTRE RIOS - REP. ARGENTINA



Capítulo 2. Marco Teórico

Para hacer una introducción general al tema del saneamiento de las aguas residuales, su estado actual y el contexto mundial, se extraen a continuación reflexiones salidas del II Congreso Internacional Smallwat 2002. Si bien estas reflexiones son muy generales, las vemos como de importancia, ya que en cierto modo reflejan las pautas que en definitiva han llevado a la realización de esta tesis.

El gran reto al que se enfrenta el hombre del siglo XXI es poder alcanzar un nivel de desarrollo a nivel global que corrija las grandes desigualdades de la población mundial, asegurando un nivel de vida digno y unas condiciones personales mínimas para cualquier habitante de la Tierra.

Se estima que el 40% de la población mundial no dispone de servicio sanitario básico, es decir, que 2,600 millones de seres humanos están obligados a practicar fecalismo al aire libre, práctica que además de contaminar el ambiente y tener un grave efecto sobre la salud, es denigrante para la condición humana. [Dr. Manuel Peña del CEPIS, Día Mundial del Agua 2008: "El Saneamiento importa" conferencia que se realizó en sede de la OMS]

Todo esto, garantizando que el impacto que ello suponga sobre los recursos naturales permita la conservación de los mismos para su uso y disfrute por parte de las generaciones venideras. Así lo estableció la Conferencia de Río de Janeiro sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992) y lo ratificó la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible celebrada en Johannesburgo en 2002. Si en la primera de ellas se llegó a la conclusión de que la protección del medio ambiente, el desarrollo social y el económico eran fundamentales para lograr el desarrollo sostenible, la de Johannesburgo va más allá, adquiriendo compromisos más fuertes que logren reducir las enormes diferencias entre ricos y pobres, abogando por la universalidad de la dignidad humana en su concepto más amplio.

Sin lugar a dudas, para alcanzar este objetivo global, una de las metas más importantes a la que se debe hacer frente es la relativa al acceso al agua potable y al saneamiento básico, elementos esenciales en el desarrollo de un país.

Según los informes de UNICEF y la OMS, cada año mueren cerca de 1,8 millones de niños como consecuencia directa de la diarrea y otras enfermedades causadas por el agua sucia y por un saneamiento insuficiente. A comienzos del siglo XXI, el agua sucia es la segunda causa de muerte infantil en el mundo, a pesar de que se cuenta con la financiación, las tecnologías y las capacidades para hacer que la crisis del agua pase a formar parte de la historia.

El saneamiento y tratamiento adecuado de las aguas residuales generadas por la actividad humana supone un doble beneficio: por un lado, mejora las condiciones de vida de la población afectada (pobreza, higiene, salubridad, etc) y, por otro, supone una estrategia de conservación del buen estado ecológico de los recursos hídricos.

En los últimos años, se ha podido observar un notable avance científico técnico en el desarrollo de tecnologías de saneamiento y depuración, especialmente en lo que se refiere a tecnologías no convencionales, naturales o de fitodepuración, que han sido



objeto de numerosos e importantes trabajos de investigación por parte de la comunidad científica. Sin embargo, estos avances no se han traducido en una solución del problema. Es por ello que la comunidad científica debería hacer una reflexión a este respecto y plantearse en qué medida los avances técnicos están contribuyendo a mejorar la situación mundial en materia de saneamiento básico y depuración y, por tanto, en qué medida sus esfuerzos contribuyen a la consecución de los ODM. [II Congreso Internacional Smallwat 2002].

2.1. Contexto mundial en cuanto a saneamiento

Se hará a continuación una breve síntesis de lo que acontece actualmente con el servicio de agua y saneamiento a nivel mundial. Está claro que tanto el agua para consumo como el saneamiento van de la mano, y es por este motivo que se hace un informe de ambos factores. Es decir, si se proyecta un aumento en el servicio de agua para consumo en una región "X", se deberá sin lugar a dudas proceder a un aumento también de los sistemas de tratamiento del agua residual, siguiendo de esta manera una ruta lógica.

Se analizara de manera sintética la situación de los distintos continentes y regiones del mundo, profundizando un poco más para el caso de América Latina.

2.1.1. África

Con sólo un 64 por ciento de la población teniendo acceso a un abastecimiento de agua adecuado, África es proporcionalmente la región del mundo que más sufre de la ausencia de este servicio. La situación es mucho peor en las zonas rurales donde la cobertura es sólo del 50 por ciento comparada con el 86 por ciento en las zonas urbanas. Todavía aún más de la mitad de los habitantes de las zonas urbanas carecen de un abastecimiento adecuado, si por ello entendemos disfrutar de una conexión hasta el hogar o de una toma de agua en el jardín.

La situación de agua y saneamiento en África occidental y central es particularmente grave, pues registra la tasa más elevada de mortalidad entre los menores de cinco años de todas las regiones en desarrollo. La mayor parte de la población de la región está concentrada en las zonas rurales, pero el proceso de urbanización está avanzando rápidamente. En el período comprendido entre 1990 y 2004 aproximadamente 49 millones de pobladores de las zonas urbanas obtuvieron acceso a fuentes mejoradas de agua potable (en comparación con solo 26 millones de las zonas rurales). Pero ese incremento no correspondió al crecimiento de la población urbana, y el número de habitantes de las zonas urbanas sin acceso se duplicó, pasando de 17 millones a 34 millones.

Los conflictos civiles, junto con las poblaciones de refugiados y desplazados internos que generan, han supuesto una carga excesiva para los recursos de la región y retrasado el progreso en cuanto a la cobertura de agua y saneamiento. [II Congreso Internacional Smallwat 2002 y datos de la OMS].



2.1.2. Oriente Medio y África del Norte

En la esfera de la cobertura de saneamiento, en la región de Oriente Medio y África del Norte se produjeron progresos levemente mayores, de un 68% en 1990 a un 74% en 2004, lo que significa que 87 millones de personas obtuvieron acceso y que es muy probable que se alcance la meta de saneamiento de los ODM cifrada en un 84%. Sin embargo, el número de personas sin acceso aumentó durante este periodo en términos reales, de 88 millones en 1990 a 96 millones en 2004. Para alcanzar la meta, se necesita llegar a otros 107 millones de personas para 2015. La desigualdad entre las zonas urbanas y rurales en la cobertura de saneamiento es considerable, ya que se cifra en un 90% y un 53%, respectivamente.

Las situaciones de emergencia relacionadas con los conflictos siguen siendo un importante motivo de preocupación. La prioridad es enviar agua potable directamente a las familias necesitadas y rehabilitar los sistemas de agua y saneamiento dañados. [II Congreso Internacional Smallwat 2002 y datos de la OMS]

2.1.3. Asia

La cobertura de saneamiento de Asia meridional se encuentre entre las más bajas del mundo, en un 37%, prácticamente la misma que la de África subsahariana. Los 921 millones de personas de la región que viven sin letrinas representan más de una tercera parte del total mundial.

La situación es especialmente preocupante para los niños y niñas de la región. La mortalidad de menores de cinco años en Asia meridional es la mayor en el mundo en desarrollo fuera de África subsahariana.

La región ha impulsado el acceso a fuentes mejoradas de agua, al ampliar la cobertura de un 71% en 1990 a un 85% en 2004 y ha cumplido prácticamente con la meta de los ODM, de un 86%.

El aumento proporcional en el acceso a instalaciones mejoradas de saneamiento en Asia meridional ha sido incluso mayor que en la esfera del agua potable. La tasa ha sido de más del doble, de un 17% en 1990 a un 37% en 2004, pero comenzó a niveles tan bajos que será necesario acelerar considerablemente el ritmo para que la región cumpla con la meta del ODM de un 59%. Para 2015 tendrán que obtener acceso otros 478 millones de personas. [II Congreso Internacional Smallwat 2002 y datos de la OMS]

2.1.4. Europa

La depuración de las aguas residuales ha sido una preocupación constante por parte de las autoridades competentes en el marco europeo a lo largo de los últimos años. Fiel reflejo de esta preocupación es la Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas, que establece los criterios y plazos a cumplir para la depuración de las aguas residuales en todos los Estados miembros en función del tamaño de la población, el lugar y la zona de vertido, y la Directiva 2000/60/CEE (Directiva Marco del Agua) por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Ambas normas inciden en la necesidad de un



tratamiento apropiado de los vertidos con la finalidad de mantener un buen estado ecológico de las aguas.

Las obligaciones establecidas en estas directivas han marcado las actuaciones a nivel europeo en materia de depuración en los últimos años, además de haber condicionado toda la normativa posterior sobre tratamiento de aguas residuales en los países miembros de la UE.

Los progresos en la aplicación de la Directiva 91/271 han supuesto un empuje muy importante y determinante en el marco de la depuración, tanto nacional como internacional, aunque no definitivo, ya que aún existen numerosas poblaciones sin tratamiento de sus aguas residuales o, en cualquier caso, con un tratamiento insuficiente.

En Europa, ante la finalización de los plazos establecidos por la citada Directiva, las actuaciones llevadas a cabo en materia de depuración en los últimos años han incidido, fundamentalmente, sobre aquellos municipios que cuentan con una población dentro del intervalo de los 2.000 y los 10.000 hab-eq. En estos núcleos es donde se han localizado las mayores carencias relacionadas con la dotación de infraestructuras, así como deficiencias en los modelos de gestión. Esta situación se agrava en el caso de núcleos de menos de 2.000 h-e debido, entre otras causas, a las limitaciones de sus recursos económicos, la falta de personal especializado, su localización descentralizada, etc., que repercute en un deficiente control sobre el servicio de saneamiento y depuración de sus aguas residuales.

Estos núcleos por debajo de 2.000 h-e tienen aún ante sí un largo camino que recorrer en materia de depuración y saneamiento de sus aguas, a pesar de que los plazos establecidos por la normativa europea han finalizado.

Ante esta situación se buscan soluciones sostenibles para estas pequeñas colectividades que se adapten a las particularidades del entorno, lo que supone un gran impulso para las llamadas tecnologías no convencionales y los sistemas descentralizados. [II Congreso Internacional Smallwat 2002 y datos de la OMS]

2.1.5. América Latina y el Caribe

La distribución de agua potable y servicios de saneamiento sigue un modelo de desigualdad característico de una región con agudas disparidades socioeconómicas. Dentro de los países de América Latina y el Caribe, las diferencias entre las zonas urbanas y rurales son especialmente pronunciadas, así como las que existen dentro del medio rural.

La cobertura general de agua potable aumentó de un 83% en 1990 a un 91% en 2004. La región es relativamente rica en recursos de agua disponibles, aunque existen amplias zonas áridas y elevadas donde la escasez de agua es un problema grave. El número absoluto de personas sin acceso a fuentes mejoradas de agua potable se redujo en una tercera parte, de 74 millones en 1990 a 50 millones en 2004.



La cobertura de saneamiento aumentó de un 68% a un 77% entre 1992 y 2004, y 127 millones de personas obtuvieron acceso en ese período. Pero para alcanzar la meta es necesario que otros 103 millones obtengan acceso a partir de ahora hasta 2015.

La cobertura de agua potable en el medio urbano es muy elevada, un 96%. Pero la cobertura rural se encuentra a la zaga con un 73%, y 34 de los 50 millones de personas sin acceso a fuentes mejoradas de agua potable viven en zonas rurales.

Estas disparidades son incluso mayores en el caso del saneamiento. Aunque un 86% de las personas que viven en zonas urbanas tienen acceso a instalaciones mejoradas de saneamiento, éstas se encuentran disponibles solamente para un 49% de las poblaciones rurales.

En la región persisten también amplias disparidades en el acceso al agua y el saneamiento relacionadas con la situación social y económica. Entre las poblaciones indígenas, el nivel de los servicios es mucho más bajo, así como en las zonas urbanas pobres y en las poblaciones de afrodescendientes.

Los huracanes, las inundaciones y los terremotos son frecuentes en la región, a menudo con efectos devastadores sobre el abastecimiento de agua y la salud pública. Entre 1994 y 2003, las pérdidas económicas en materia de agua y saneamiento se cifraron en 650 millones de dólares, como resultado de los daños que sufrieron por lo menos 2.100 sistemas urbanos y 4.500 acueductos rurales, y la destrucción de 28.000 pozos y 173.000 letrinas.

Por otro lado, la tasa de mortalidad de menores de cinco años para América Latina y el Caribe se redujo en un 43% entre 1990 y 2004. Y tanto en la esfera del agua como del saneamiento, 16 de los 33 países de la región se encuentran bien encaminados para alcanzar las metas del ODM. [II Congreso Internacional Smallwat 2002 y datos de la OMS]

De cualquier forma, el tratamiento de las aguas residuales municipales es aún muy limitado, puesto que solo se trata el 15% del caudal captado por los sistemas de alcantarillado.

La Tabla 2-1 presenta los porcentajes de tratamiento de las aguas residuales municipales para algunos países de la región.

Las tecnologías de tratamiento que se aplican en América Latina y el Caribe son en mayoría lagunas de estabilización, seguidas por el proceso de lodos activados. La aportación de diversas tecnologías en el tratamiento de las aguas residuales se presenta en la Tabla 2-2 y puede ser considerado como representativo de la región.

En los datos presentados en la Tabla 2-2 se destaca que si bien las lagunas representan el mayor número de instalaciones (54.4%), son los lodos activados los que presentan mayor capacidad de tratamiento (40.3%). Es de notar el surgimiento en los dos últimos años del tratamiento primario avanzado (primario con adición de coagulantes) con instalaciones de tamaño importante.



País	Porcentaje tratado (%)	Porcentaje por nivel de tratamiento		
		Primario	Secundario	Otros
Argentina	10	0	100	0
Bahamas	80	60	25	15
Bolivia	30	33	67	0
Brasil	20	10	68	22
Colombia	10	65	35	
Costa Rica	4	33	67	0
Dominicana	50	80	0	20
Ecuador	5	-	-	-
El Salvador	2	46	54	0
Haiti	0			
Mexico	25	46	54	0
Nicaragua	34			
Peru	14			
Puerto Rico	100			
Trinidad	65	50	28	22

Tabla 2-1. Porcentajes de tratamiento de las aguas residuales municipales para algunos países de la región

Tipo de proceso	Número de plantas, años		Flujo de diseño (m ³ /s)	(% del flujo de diseño)	(% del flujo de diseño en operación)
	1998	(2002)			
Lagunas	497	(532)	17.2	27.3	
Lodos activados	181	(226)	25.4	40.3	
Lagunas aireadas	7		4.1	6.5	
Filtros percoladores	28	(34)	3.7	5.9	
Filtros percoladores y lodos activados	4		3.3	5.2	
Tratamiento primario avanzado		(4)	(3.5)		
Otros	196	(336)	9.3	14.8	
Total (2002)	913	(1132)	63 (80.6)	100	60 (63)

Tabla 2-2. Tecnologías en el tratamiento de las aguas residuales

Según datos del CEPIS (2002), para varios países de la región (Argentina, Bolivia, Chile, Costa Rica, Ecuador, Nicaragua, Paraguay, Perú y República Dominicana) entre el total de 252 instalaciones de tratamiento, se contabilizaron 10 sistemas de lodos activados (525 l/s), 158 lagunas de estabilización (4,851 l/s) y 27 lagunas combinadas (3,304 l/s). [Noyola A., Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales, Tendencias en el tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica]

2.2. Futuro en el tratamiento de aguas residuales en la región

Las necesidades por cubrir para el suministro de agua potable y saneamiento son enormes. Ante el fracaso de los programas mundiales y regionales para reducir significativamente la fracción de la población sin acceso a estos servicios básicos, y frente a las nuevas metas, es evidente que debe producirse un cambio radical en las formas en que se ha abordado el problema. Las inversiones estimadas para atender este rezago son cuantiosas y fuera del alcance de las economías de los países de la región. El Banco Mundial estimó en 1995 que el sector agua y saneamiento en América Latina y el Caribe requería de 12 mil millones de dólares anuales durante diez años



para alcanzar niveles de cobertura solo “razonables”. De esta suma, 5 mil millones deberían ser destinados al abastecimiento de agua potable y 7 mil millones al saneamiento (en miles de millones de dólares: 4.4 para sistemas de drenaje; 1.2 para plantas de tratamiento; 1.2 para rehabilitación de la infraestructura y 0.2 para saneamiento rural). Un elemento importante a considerar es que el 74% de la población en los países de la región vive en centros urbanos, lo que implica la centralización de los servicios, entre ellos la recolección del agua residual y su tratamiento. El aspecto positivo es que el factor de escala favorece los costos por habitante; el negativo es que conduce a la aplicación automática de los modelos tradicionales del saneamiento. [Noyola A., Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales, Tendencias en el tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica]

2.3. Discusión acerca de la metodología a aplicar

Ante el reto de llevar mejores condiciones de salud y vida a todos los habitantes de América Latina y el Caribe, las soluciones para el saneamiento deben ser en buena medida innovadoras y surgidas del conocimiento profundo de la problemática específica que presenta la región.

El enfoque convencional importado de los países desarrollados ha mostrado sus limitaciones, fundamentalmente por requerir montos de inversión y operación muy elevados, además de incrementar la dependencia tecnológica. Es imperativo que se desarrollen e implanten sistemas administrativos, financieros y tecnológicos que realmente respondan a las necesidades y limitaciones de los usuarios latinoamericanos si se quiere cumplir con las metas del sector. Para ello, la experiencia y la innovación del gremio profesional debe aplicarse con compromiso, en el entendido de que enfrentará muchos intereses creados, nacionales y extranjeros. Para responder ante este gran reto, se deberá contar indispensablemente con el apoyo decidido de la sociedad y con la voluntad política de los gobernantes.

La diversidad de opciones tecnológicas disponibles en la actualidad hace complicada la tarea de evaluar y seleccionar el sistema y la tecnología más adecuada para cada aplicación.

Se puede considerar que el mejor tren de tratamiento será aquel que con el máximo de economía y el mínimo de complejidad, alcance la calidad de agua requerida, ya sea para su descarga al medio natural o para su reuso. Este concepto, aparentemente obvio, no se ha aplicado en un buen número de ocasiones, lo que ha llevado al abandono de muchas instalaciones de tratamiento en la región.

Las principales causas de la ineficiencia o el abandono de las plantas son los altos costos de operación y que el sistema fue impuesto al organismo responsable de la operación con base en decisiones de corto plazo y sin considerar al operador ni a los usuarios del servicio.

Con base en las grandes necesidades de infraestructura de saneamiento que enfrenta la región y con la evidente escasez de recursos financieros para atenderlas, las opciones tecnológicas por considerar deberán cumplir con ciertos criterios.



- La materia no se destruye, solo se transforma. Esto lleva a los inevitables subproductos y residuos y por lo tanto a integrar un sistema completo, que contemple el manejo de los lodos y otros subproductos
- Limitar las necesidades de insumos (energía, reactivos)
- Minimizar los residuos y aprovechar los subproductos (reciclar)
- Cumplir con la calidad especificada de descarga
- Incorporar a la población (usuarios) en la toma de decisiones con objeto de que adopte como propia la opción seleccionada

Con los argumentos expuestos, se puede concluir que la vía biológica, al ser una herramienta de la naturaleza, está mucho mejor ubicada para resolver los problemas del tratamiento de aguas residuales biodegradables, como lo son las de origen municipal. A su vez, los procesos anaerobios cumplen los requisitos deseables para establecer una tecnología perdurable. De considerarse estos atributos al momento de seleccionar tecnologías de tratamiento de aguas residuales, se avanzaría, aunque fuera en modesta forma, en la construcción del desarrollo sustentable (Noyola, 1996). Para la selección de tecnologías de tratamiento en América Latina y el Caribe se pueden identificar dos grandes subconjuntos, los cuales a su vez se combinan entre sí:

- En función de la densidad de población: área urbana y área rural
- En función del clima: zonas cálidas y zonas frías o templadas

Sin entrar en detalle sobre los procedimientos para la selección de sistemas y tecnologías de tratamiento de aguas residuales, puede identificarse la pertinencia de tipos de tecnologías para cada uno de los grupos señalados. Es así que el medio urbano, donde el terreno es escaso y caro, los procesos compactos tendrán mayor aceptación, mientras que en el medio rural, la ventaja la tendrán los sistemas naturales. Una combinación entre ciertos procesos compactos, con menor grado de mecanización, y procesos naturales podrá en ocasiones ser una ventajosa opción, en particular cuando los costos de operación deban ser reducidos y se tengan ciertas limitaciones de terreno. Por otro lado, la influencia del clima y de la temperatura del agua es particularmente importante para los sistemas naturales, así como para los sistemas compactos anaerobios. De esta forma, temperaturas del agua inferiores a 20°C o ambiente mínimas cercanas a 0°C pueden limitar la aplicación de estos procesos, lo que resulta menos problemático para los procesos compactos aerobios o fisicoquímicos.

El debate de hace algunos años, que llevaba a oponer las tecnologías anaerobias modernas con las aerobias, ya ha sido resuelto en buena medida en el sector industrial; se ha ganado madurez y experiencia. Ahora lo que se acepta en forma creciente es que ambos tipos de procesos no se oponen, por el contrario, se complementan al aportar cada uno su parte, paliando entre ambos sus respectivas desventajas o limitaciones. El esquema anterior es menos claro en el caso de aguas más diluidas, como las de origen doméstico o municipal. En este sentido, la evidencia de la madurez de la tecnología anaerobia aplicada en efluentes industriales ya es clara, pero aún falta mucho por convencer en el ramo de las aguas residuales municipales. Es conveniente señalar el hecho que la última edición (4ª) del libro editado por Metcalf y Eddy (2003)



ya incluye una sección completa (capítulo 10) para los procesos anaerobios, la cual trata en detalle la tecnología, aunque sin prácticamente mencionar su aplicación al tratamiento de aguas residuales municipales. Lo anterior es un reconocimiento a la madurez de la tecnología, al menos en el sector industrial. Por el contrario, el capítulo sobre sistemas de tratamiento naturales (capítulo 13) de la edición anterior, fue eliminado en la nueva edición.

2.4. Características de las aguas residuales

El agua residual es la fracción líquida de los residuos generados por una comunidad. Siendo esta el agua de que se desprende una comunidad una vez que ha sido contaminada a través de los diferentes usos para los que ha sido empleada. Desde el punto de vista de las fuentes de generación, podemos definir el agua residual 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 aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

Si se permite la acumulación y estancamiento del agua residual, la descomposición de la materia orgánica que tiene puede conducir a la generación de gases malolientes. Si a esto añadimos la frecuente presencia en el agua residual bruta, de numerosos microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano. También puede contener nutrientes, que estimulan el crecimiento de plantas acuáticas, y puede incluir también compuestos tóxicos. Es por todo ello que la evacuación inmediata y sin molestias del agua residual de sus fuentes de generación, seguida de su tratamiento y eliminación, es no solo deseable sino también necesaria en una sociedad

En este apartado se proporciona información sobre la definición y utilidad de las características físicas, químicas y biológicas del agua residual así como también de su composición, los contaminantes importantes en lo que respecta al tratamiento de las aguas y los métodos de análisis que se emplean.

En la Tabla 2-3 a modo de resumen se presentan las características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 3]

FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
MONUMENTO HISTÓRICO NACIONAL
TEL. (03442) 425541 / 427203
Ing. PEREYRA, OTE - CONCEPCIÓN - CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
ENTRE RÍOS - REP. ARGENTINA



Características	Procedencia
Propiedades físicas:	
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales
Constituyentes químicos:	
Orgánicos:	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Grasas animales, aceites y grasa	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Otros	Degradación natural de materia orgánica
Inorgánicos:	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
Metales pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Azufre	Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales
Gases:	
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos
Metano	Descomposición de residuos domésticos
Oxígeno	Agua de suministro; infiltración de agua superficial
Constituyentes biológicos:	
Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Protistas:	
Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
Virus	Aguas residuales domésticas

Tabla 2-3. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.

2.4.1. Características físicas.

Las características físicas del agua residual más importantes son el contenido total de sólidos, siendo este la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 a 105 °C. Los sólidos Sedimentables se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un cono Imhoff como el de la Figura 2-1, en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los Sólidos Sedimentables constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria de un agua residual.

Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 3]

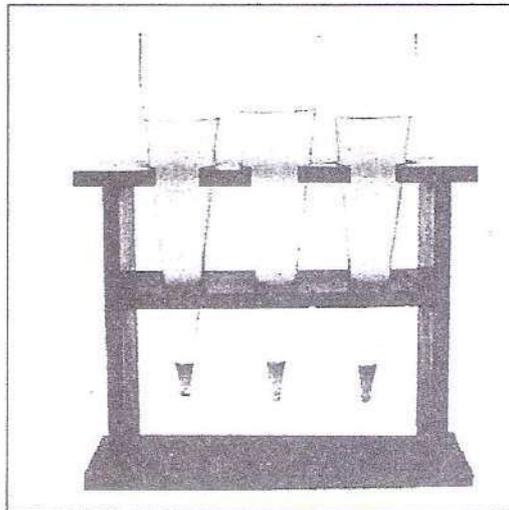


Figura 2-1. Cono Imhoff empleado para la determinación de los sólidos sedimentables presentes en el agua residual. La cantidad de sólidos acumulados en la parte inferior del cono se expresa en ml/l.

2.4.1.1. Sólidos Totales.

Los sólidos totales, o residuo de la evaporación, pueden clasificarse en filtrables o no filtrables, haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro como el de la Figura 2-2. Para este proceso de separación suele emplearse un filtro de fibra de vidrio con un tamaño nominal de poro de 1,2 micrómetros, como el de la Figura 2-2, aunque también suele emplearse filtro de membrana de poli carbonato. Es conveniente destacar que los resultados que se obtienen empleando ambos filtros pueden presentar algunas diferencias, achacables a la diferente estructura de los filtros.

Una vez filtrada la muestra de agua residual, se colocara el filtro de fibra de vidrio (tarado previamente) en un platillo de aluminio para su secado antes de pesarlo.

Los sólidos disueltos están compuestos de moléculas de orgánicas e inorgánicas e iones en disolución en el agua. No es posible eliminar la fracción coloidal por sedimentación. Normalmente, para eliminar la fracción coloidal es necesaria la oxidación biológica o la coagulación es necesaria la coagulación u oxidación biológica complementadas con la sedimentación.

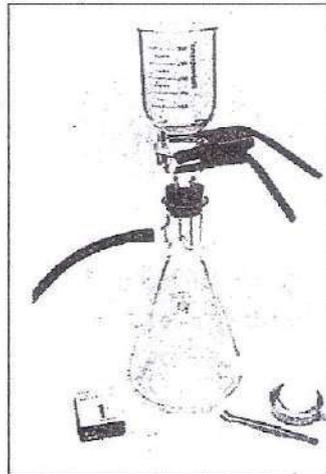


Figura 2-2. Aparato empleado para la determinación del contenido de sólidos en suspensión.

Cada una de las categorías de sólidos comentadas hasta ahora puede a su vez ser dividida en función de su volatilidad a $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$. A esta temperatura, la fracción orgánica se oxidará y desaparecerá en forma de gas, quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas. De ahí que se empleen los términos Sólidos Volátiles y Sólidos Fijos para hacer referencia, respectivamente, a los componentes orgánicos e inorgánicos de los sólidos en suspensión. El análisis de sólidos volátiles se utiliza habitualmente para determinar la estabilidad biológica de los fangos de aguas residuales.

2.4.1.2. Olores

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor peculiar, algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica es el debido a la presencia del sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo en la implantación de instalaciones de tratamiento del agua residual.

A bajas concentraciones, la influencia de los olores sobre el normal desarrollo de la vida humana tiene más importancia por la tensión psicológica que generan que por el daño que puedan producir al organismo. Los olores molestos pueden reducir el apetito, inducir a menores consumos de agua, producir desequilibrios respiratorios, náuseas y vómitos, y crear perturbaciones mentales. En condiciones extremas, los olores pueden conducir al deterioro de la dignidad personal y comunitaria, interferir en las relaciones humanas, desanimar las inversiones de capital, hacer descender el nivel socioeconómico y reducir el crecimiento. Estos problemas pueden dar lugar al descenso de las rentas y el mercado de propiedades, los ingresos por impuestos y las ventas.



2.4.1.3. *Temperatura*

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y solo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. En función de la situación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21 °C, pudiéndose tomar 15.6 °C como valor representativo.

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles.

Por otro lado, el oxígeno es menos soluble en agua caliente que en agua fría. El aumento de las velocidades de las reacciones químicas que produce un aumento de la temperatura, combinado con la reducción del oxígeno presente en las aguas superficiales, es acusada frecuente de agotamiento de las concentraciones de oxígeno disuelto durante los meses de verano. Estos efectos se ven amplificadas cuando se vierten cantidades considerables de agua caliente a las aguas naturales receptoras. Es preciso tener en cuenta que un cambio brusco de temperatura puede conducir a un aumento de la mortalidad de la vida acuática. Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25 y 35 °C. Los procesos de digestión aerobia y de nitrificación se detienen cuando se alcanzan los 50 °C. A temperaturas de alrededor de 15 °C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, mientras que las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de actuar cuando la temperatura alcanza valores cercanos a los 5°C.

2.4.1.4. *Densidad*

Se define la densidad del agua como su masa por unidad de volumen. Es una característica importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento. En ocasiones se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual, obtenido como cociente entre la densidad del agua residual y la densidad del agua. Ambos parámetros, la densidad y el peso específico, dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual.

2.4.1.5. *Color*

La edad del agua residual puede ser determinada cualitativamente en función de su color. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris



a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegado este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica. Algunas aguas residuales industriales pueden añadir color a las aguas residuales domésticas.

2.4.1.6. *Turbiedad*

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.

2.4.2. *Características químicas: definición y aplicación.*

Las características químicas de las aguas residuales que se aborda son: la materia orgánica, la medición del contenido orgánico, la materia inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. El hecho de que la medición del contenido en materia orgánica se realice por separado viene justificado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 3]

2.4.2.1. *Materia orgánica*

Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son:

- Las proteínas (40% a 60%), estas contienen carbono, común a todas las sustancias orgánicas, oxígeno e hidrógeno. Además, como característica distintiva, contienen una elevada cantidad de nitrógeno, en torno al 16%. En muchos casos, también contienen azufre, fósforo y hierro. La urea y las proteínas son los principales responsables de la presencia de nitrógeno en las aguas residuales. La existencia de grandes cantidades de proteínas en un agua residual puede ser origen de olores fuertemente desagradables debido a los procesos de descomposición.
- Hidratos de carbono (25% a 50%), estos contienen carbono, oxígeno e hidrógeno.
- Grasas y aceites (10%). El término grasa, de uso extendido, engloba las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. Químicamente son muy parecidos, y están compuestos por carbono, oxígeno e hidrógeno en diferentes proporciones. Las grasas se hallan entre los compuestos orgánicos de mayor estabilidad, y su descomposición por acción bacteriana no resulta sencilla. El keroseno, los aceites lubricantes y los procedentes de materiales bituminosos son derivados del petróleo y del alquitrán, y sus componentes principales son carbono e hidrógeno. En ocasiones



pueden alcanzar la red de alcantarillado en grandes cantidades procedentes de tiendas, garajes, talleres y calles. La mayor parte de estos aceites flotan en el agua residual, aunque una fracción de ellos se incorpora al fango por los sólidos sedimentables. Los aceites minerales tienden a recubrir las superficies en mayor medida que las grasas, los aceites y los jabones. Las partículas de estos compuestos interfieren en el normal desarrollo de la actividad biológica y son causa de problemas de mantenimiento.

- Urea. Es el principal constituyente de la orina. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes.

El agua residual también contiene pequeñas cantidades de gran número de moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja, como es el caso de los agentes tensoactivos. Estos están formados por moléculas de gran tamaño, que son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos de agua residual. Tienden a concentrarse en la interface aire-agua.

2.4.2.2. Medida del contenido orgánico

Los diferentes métodos empleados para determinar altas concentraciones se especifican a continuación a través de los siguientes ensayos de laboratorio:

a) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días (DBO₅). La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de los ensayos de DBO se emplean para:

- Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.
- Dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
- Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento.
- Controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

b) Demanda química de oxígeno (DQO).

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica, tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse.

La DQO de un agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica. En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre los valores de la DBO y la DQO. Ello puede



resultar de gran utilidad dado que es posible determinar la DQO en un tiempo de 3 horas, frente a los 5 días necesarios para determinar la DBO.

2.4.2.3. *Materia inorgánica.*

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las aguas residuales, salvo el caso de determinados residuos industriales, no se suelen tratar con el objetivo específico de eliminar los constituyentes inorgánicos que se incorporan durante el ciclo de uso. Las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan, igualmente, debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua. Puesto que las concentraciones de los diferentes constituyentes inorgánicos pueden afectar mucho a los usos del agua, conviene examinar la naturaleza de algunos de ellos, especialmente aquellos que han sido incorporados al agua superficial durante su ciclo de uso.

- La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas.
- Los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua. En el caso de aguas costeras, su presencia también es debida a la intrusión de aguas saladas. Otra fuente de cloruros es la descarga de aguas residuales domésticas, agrícolas e industriales a aguas superficiales. En lugares donde la dureza del agua sea elevada, los compuestos que reducen la dureza del agua también son una importante fuente de aportación de cloruros. La infiltración de agua subterránea en las alcantarillas contiguas a aguas saladas constituye también una potencial fuente de cloruros y sulfatos.
- La alcalinidad de un agua residual está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. La alcalinidad ayuda a regular los cambios de pH producidos por la adición de ácidos. Normalmente, el agua residual es alcalina, propiedad que adquiere de las aguas de tratamiento, el agua subterránea, y los materiales añadidos en los usos domésticos. La concentración de alcalinidad en un agua residual es importante en aquellos casos en los que empleen tratamientos químicos, en la eliminación biológica de nutrientes, y cuando haya que eliminar el amoníaco mediante arrastre por aire.
- Los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. En aquellos casos en los que sea necesario el control del



crecimiento de algas en la masa de agua receptora para preservar los usos a que se destina, puede ser necesaria la eliminación o reducción del nitrógeno en las aguas residuales antes del vertido. El fósforo también es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos

- Azufre. El ion sulfato se encuentra, de forma natural, tanto en la mayoría de las aguas de abastecimiento como en el agua residual. Para la síntesis de proteínas, es necesario disponer de azufre, elemento que posteriormente será liberado en el proceso de degradación de las mismas.
- Compuestos tóxicos inorgánicos. El cobre, el plomo, la plata, el cromo, el arsénico y el boro son tóxicos en mayor o menor grado para los microorganismos, razón por la cual deben ser considerados en el proyecto de plantas de tratamiento biológico. El funcionamiento de muchas de ellas se ha visto alterado por la presencia de estos iones, hasta el extremo de provocar la muerte de los microorganismos, obligando a detener el tratamiento.
- Metales pesados. Podemos destacar el níquel, el manganeso, el plomo, el cromo, el cadmio, el cinc, el cobre, el hierro y el mercurio. Algunos de ellos son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica, y la ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de las algas, por ejemplo. Debido a su toxicidad, la presencia de cualquiera de ellos en cantidades excesivas interferirá con gran número de los usos del agua. Es por ello que, a menudo, resulta conveniente medir y controlar las concentraciones de dichas sustancias.

2.4.2.4. Gases.

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N_2), el oxígeno (O_2), el dióxido de carbono (CO_2), el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el amoníaco (NH_3), y el metano (CH_4). Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Si bien no se encuentran en el agua residual sin tratar, existen otros gases como el cloro (Cl_2) y el ozono (O_3) (desinfección y control de olores), y los óxidos de azufre y nitrógeno (procesos de combustión).

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas estivales. Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto.

El sulfuro de hidrógeno es un gas incoloro, inflamable, con un olor típicamente característico que recuerda al de huevos podridos. El ennegrecimiento del agua residual y del fango se debe, generalmente, a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso u otros sulfuros metálicos.

El metano es el principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual y es un hidrocarburo combustible de alto valor energético,



incolore e inodoro. Normalmente, no se encuentra en grandes cantidades en el agua residual, puesto que incluso pequeñas cantidades de oxígeno tienden a ser tóxicas para los organismos responsables de la producción del metano. En las plantas de tratamiento, el metano se genera en los procesos de tratamiento anaeróbicos empleados para la estabilización de los fangos de aguas residuales. Además, deberán disponerse carteles de aviso sobre el peligro de explosión existente, y los operarios deberán ser instruidos acerca de las medidas de seguridad que hay que respetar durante los horarios de trabajo en las estructuras en las que pueda aparecer el gas.

2.4.3. Características biológicas: definición y aplicación.

Las características biológicas que se deben tener en cuenta para el estudio del agua residual son los microorganismos y organismos patógenos, así como también se debe poner especial atención en la determinación de organismos coliformes y los ensayos de toxicidad. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 3]

2.4.3.1. Microorganismos

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se especifican a continuación:

- Bacterias. El papel que desempeñan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en los procesos naturales como los procesos que ocurren en una planta de tratamiento, es amplio y de gran importancia. Por lo que resulta importante conocer las características más destacables de aquellas que operan como indicadores de contaminación, como es el caso de la *Escherichiacoli*, común en las heces humanas.
- Los hongos, que basan su alimentación en materia orgánica muerta, por lo que son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera. Desde el punto de vista ecológico, presentan ciertas ventajas respecto de las bacterias, ya que proliferan en zonas de escasa humedad y en ámbitos de bajo pH.
- Las algas, que son organismos que ocasionan inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente en condiciones favorables.
- Protozoos. Estos organismos se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos. Tienen vital importancia en la purificación de cursos de agua ya que son capaces de mantener un equilibrio entre la proliferación de otros microorganismos.
- Plantas y animales. Para el análisis sanitario tienen importancia aquellas plantas y animales de diferentes tamaños como gusanos o crustáceos macroscópicos. El conocimiento de la existencia de estos organismos es importante a la hora de valorar la toxicidad de un curso de agua, y de determinar la efectividad de la vida biológica en los tratamientos secundarios empleados en destruir los residuos orgánicos.
- Virus. Desde el punto de vista sanitario es importante conocer su existencia, ya que aquellos excretados por el ser humano constituyen un peligro muy importante en las aguas.



2.4.3.2. Organismos Patógenos

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que están infectados o que pueden ser portadores de una determinada enfermedad, y son organismos de alta infecciosidad.

2.4.3.3. Uso de organismos indicadores.

Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales y contaminadas en cantidades muy pequeñas y, además, resultan difíciles de aislar y de identificar. Por ese motivo se emplea el organismo coliforme como organismo indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar.

Las bacterias coliformes que incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*, son utilizados como organismos indicadores, aunque su utilización debe ser cuidadosa, ya que no siempre es sinónimo de contaminación, ya que alguna de las clases de coliformes y *Aerobacter*, crecen en el suelo. Particularmente la *Escherichia coli* es un fuerte indicador de contaminación ya que proviene de la materia fecal, pero como es difícil de determinar su concentración sin contabilizar coliformes del suelo, se toma todo el grupo como indicador de contaminación fecal.

A pesar de eso en los últimos años se han desarrollado métodos de análisis que permiten discriminar la presencia de *Escherichia* del grupo de los coliformes.

Los ensayos más habituales empleados para la determinación de la presencia de organismos coliformes son el método del tubo múltiple y el método del filtro de membrana.

2.4.3.4. Ensayos de toxicidad

Estos ensayos son utilizados para:

- Constatación de las condiciones ambientales para la proliferación de vida acuática.
- Determinación de concentraciones aceptables para los diferentes parámetros convencionales de las aguas receptoras.
- Estudios sobre la influencia de los parámetros de calidad de agua sobre la toxicidad de las mismas.
- Determinación del nivel de tratamiento de las aguas residuales necesario para alcanzar los límites establecidos por la legislación relativa al control de la contaminación de las aguas.
- Determinación de la efectividad de los procesos de tratamiento de aguas residuales.
- Establecimiento de los límites autorizados de descarga de efluentes.
- Determinación del cumplimiento de la legislación relativa a la conservación y calidad del agua.

Debido a que no es económicamente factible determinar la toxicidad específica de cada una de las miles de sustancias potencialmente tóxicas que aparecen en efluentes



complejos, el ensayo del efluente global en el que intervienen organismos acuáticos es un modo directo y económicamente rentable de determinar la toxicidad del efluente.

Para realizar el ensayo se introducen en acuarios con diferentes concentraciones del efluente organismos adecuados para el bioensayo, y se observa la respuesta.

A pesar de que los organismos presentan sensibilidades variables frente a la toxicidad de los efluentes, se ha podido comprobar que existe una correlación entre la toxicidad de los efluentes y las mediciones de la toxicidad en los cuerpos de aguas receptores en aquellos casos en los que se ha registrado la dilución y las predicciones de los impactos causados por la toxicidad, tanto de efluentes como de los cuerpos de agua receptores, hechas a partir de los resultados obtenidos en los ensayos, se corresponden razonablemente con las respuestas de la comunidad ecológica de los cuerpos receptores.

2.5. Clasificación de los métodos de tratamiento de las aguas residuales

Para determinar el grado de tratamiento del agua residual puede compararse las características del agua residual cruda con las exigencias del efluente correspondiente.

Luego, se deben evaluar las diferentes alternativas de evacuación para luego determinar la combinación óptima.

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden eliminarse por procesos químicos, físicos y/o biológicos. Los métodos individuales suelen clasificarse en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios. Estas operaciones y procesos se utilizan conjuntamente en los sistemas de tratamiento. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 4]

2.5.1. Aplicación de los métodos de tratamiento

Haciendo un enfoque racional, en primera instancia, se debe establecer el nivel de eliminación de contaminantes (tratamiento) necesario para verter las aguas residuales al medio ambiente. A partir de este momento, basándose en consideraciones fundamentales, es posible agrupar las diferentes operaciones y procesos unitarios para alcanzar un nivel de tratamiento adecuado. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 4]

2.5.1.1. Pretratamiento de las aguas residuales

El pretratamiento de las aguas residuales se define como el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares. Como ejemplo podemos nombrar el desbaste y dilaceración para la eliminación de sólidos gruesos y trapos, la flotación para la eliminación de grasas y aceites y el desarenado para la eliminación de materia en suspensión gruesa que pueda causar obstrucciones en los equipos y un desgaste excesivo de los mismos.



2.5.1.2. *Tratamiento primario de las aguas residuales*

En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación suele llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como el tamizado y la sedimentación. El efluente del tratamiento primario suele tener una cantidad considerable de materia orgánica y DBO alta.

2.5.1.3. *Tratamiento secundario convencional*

El tratamiento secundario de las aguas residuales está principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento secundario. Se define el tratamiento secundario convencional como la combinación de diferentes procesos normalmente empleados para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con fangos activados, reactores de lecho fijo, los sistemas de lagunaje y la sedimentación.

2.5.1.4. *Control y eliminación de nutrientes*

La eliminación y control de nutrientes presentes en el agua residual es importante por diversas razones. Normalmente debido a vertido a cuerpos de agua receptores confinados, en los que se pueda crear o acelerar los procesos de eutrofización; vertidos a cursos de agua en los que la nitrificación pueda limitar los recursos de oxígeno o en los que puedan proliferar el arraigamiento de plantas acuáticas; y recargas de agua subterráneas que puedan ser usadas, indirectamente, para el abastecimiento público de agua. Los principales nutrientes contenidos en las aguas residuales son el nitrógeno y el fósforo, y su eliminación puede llevarse a cabo por procesos químicos, biológicos, o una combinación de ambos.

2.5.1.5. *Tratamiento de fangos*

La mayoría de los procesos están concebidos para la fracción líquida del agua residual. No obstante, en el proyecto de las plantas de tratamiento, el tratamiento de los fangos obtenidos del agua residual tiene un papel de igual o mayor importancia.

2.6. **Operaciones y procesos unitarios**

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden eliminarse con procesos químicos, físicos y biológicos. Los métodos individuales suelen clasificarse en los numerales que a continuación se detallan.

2.6.1. *Operaciones físicas unitarias*

Las operaciones llevadas a cabo en el tratamiento de las aguas residuales, en la que los cambios en las características y propiedades del agua se realizan mediante la aplicación de fuerzas físicas, se conocen como operaciones físicas u operaciones físicas unitarias. Dado el origen de estas operaciones se halla en la observación directa



de fenómenos que se daban en la naturaleza, constituyen los primeros métodos de tratamiento empleados por el hombre.

Las operaciones físicas unitarias más comúnmente empleadas en el tratamiento de las aguas residuales incluyen:

- Medición de caudales.
- Desbaste.
- Dilaceración.
- Homogenización de caudales.
- Mezclado.
- Sedimentación.
- Sedimentación acelerada.
- Flotación.
- Filtración.

En la Tabla 2-4 se resume las principales aplicaciones de cada una de ellas. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 6]

Operación	Aplicación	Véase Sección
Medición del caudal	Control y seguimiento de procesos, informes de descargas	6-1
Desbaste	Eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción (retención en superficie)	6-2
Dilaceración	Trituración de sólidos gruesos hasta conseguir un tamaño más o menos uniforme	9-2
Homogeneización del caudal	Homogeneización del caudal y de las cargas de DBO y de sólidos en suspensión	6-3
Mezclado	Mezclado de productos químicos y gases con el agua residual, mantenimiento de los sólidos en suspensión	6-4
Floculación	Provoca la agregación de pequeñas partículas aumentando el tamaño de las mismas, para mejorar su eliminación por sedimentación por gravedad	6-5
Sedimentación	Eliminación de sólidos sedimentables y espesado de fangos	6-6
Flotación	Eliminación de sólidos en suspensión finamente divididos y de partículas con densidades cercanas a la del agua. También espesa los fangos biológicos	6-7
Filtración	Eliminación de los sólidos en suspensión residuales presentes después del tratamiento químico o biológico	6-8
Microtamizado	Mismas funciones que la filtración. También la eliminación de las algas de los efluentes de las lagunas de estabilización	11-4
Transferencia de gases	Adición y eliminación de gases	6-9
Volatilización y arrastre de gases	Emisión de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles del agua residual	6-10

Tabla 2-4. Aplicaciones de las operaciones físicas unitarias en el tratamiento de aguas residuales.

2.6.1.1. Desbaste

Operación realizada a través de un elemento con abertura, generalmente de tamaño uniforme, que se utiliza para retener los sólidos gruesos existentes en el agua residual.

Los elementos separadores pueden estar constituidos por barras, alambres o varillas paralelas, rejillas, telas metálicas o placas perforadas, y las aberturas pueden ser de cualquier forma, aunque normalmente suelen ser ranuras rectangulares u orificios circulares. Los elementos formados por varillas o barras paralelas reciben el nombre de rejas de barrotes. El término tamiz se circunscribe al uso de placas perforadas y mallas metálicas de sección cuneiforme.

El material separado en ésta operación recibe el nombre de basuras o residuos del desbaste. Según el método de limpieza que se emplee, los tamices y rejas pueden ser de limpieza manual o automática. Los elementos de uso más frecuente para las operaciones de desbaste son los que se ilustran en el contenido de la Figura 2-3 y Figura 2-4.

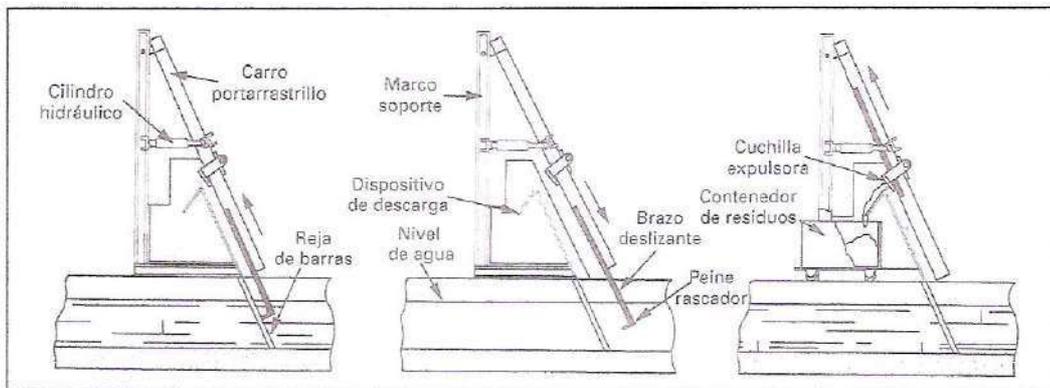


Figura 2-3. Rejas autolimpiantes típicas.

En los procesos de tratamiento del agua residual, las rejas se utilizan para proteger bombas, válvulas, conducciones y otros elementos contra los posibles daños y obturaciones provocados por la presencia de trapos y de objetos de gran tamaño.

FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
 MONUMENTO HISTÓRICO NACIONAL
 TEL/FAX (03345) 40511 / 421000
 Ing. PEREYRA 076 - 2000 - CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
 ENTRE RÍOS - REP. ARGENTINA

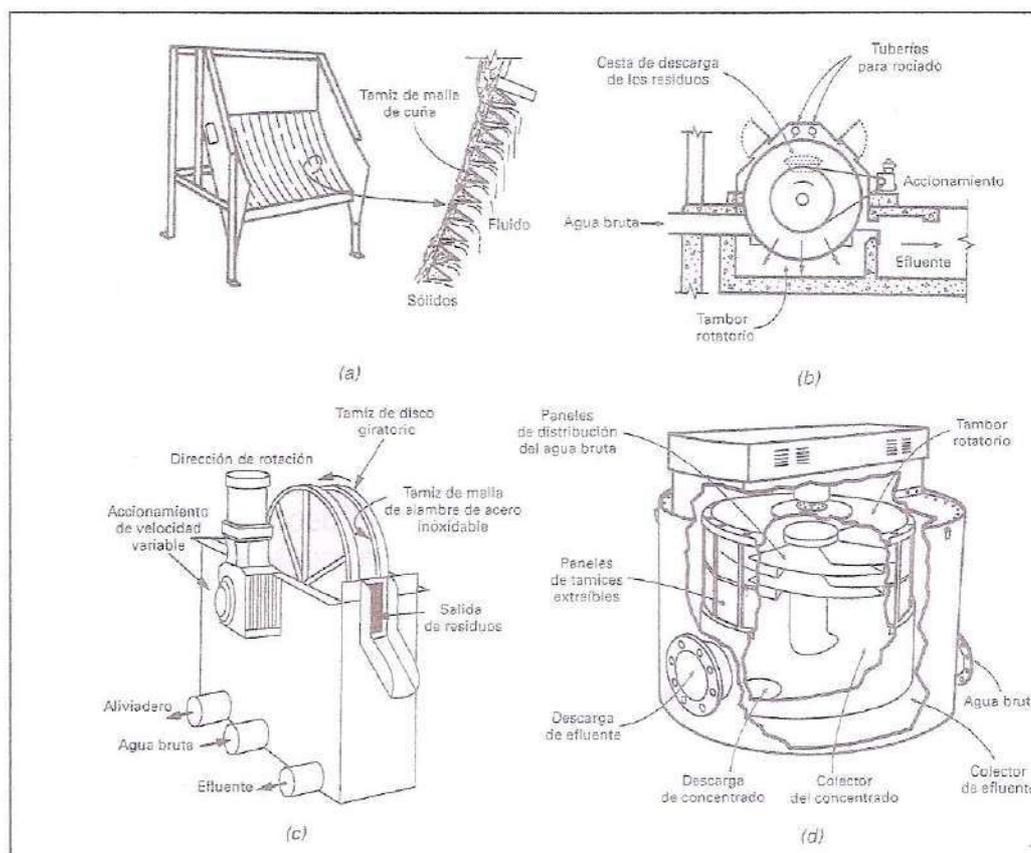


Figura 2-4. Elementos de desbaste típicos: a) Tamiz inclinado estático autolimpiante. b) Tamiz de tambor rotatorio c) Tamiz de disco giratorio d) Tamiz centrífugo.

2.6.1.2. Mezclado

El mezclado es una operación unitaria de gran importancia en muchas fases del tratamiento de aguas residuales, entre las que podemos citar:

- Mezcla de suspensiones líquidas.
- Mezcla completa de una sustancia con otra.
- Mezcla de líquidos miscibles.
- Floculación.
- Transferencia de calor.

Como ejemplo, se puede citar la mezcla de productos químicos con agua residual. En el proceso de tratamiento con fangos activados, para asegurar que los microorganismos disponen de oxígeno, es necesario mezclar el contenido de los tanques de aireación además de introducir aire u oxígeno puro. Para cumplir con ambos requisitos, la solución que suele emplearse es la introducción de aire con difusores, aunque existe la alternativa de instalar aireadores mecánicos. También se incorporan y mezclan productos químicos con los fangos, para mejorar las características del secado de los mismos. En el proceso de digestión anaerobia, el mezclado se emplea para acelerar el proceso de conversión biológica y para calentar uniformemente el contenido del digestor.



La mayoría de las operaciones de mezclado relacionado con el tratamiento de las aguas residuales puede clasificarse en continuas y rápidas continuas (30 segundos o menos). Estas últimas suelen emplearse en los casos en los que debe mezclarse una sustancia con otra y se llevan a cabo a través de sistemas que se pueden citar:

- Resaltos hidráulicos en canales.
- Dispositivos Venturi.
- Conducciones.
- Por bombeo.
- Mediante mezcladores estáticos.
- Mediante mezcladores mecánicos.

En los cuatro primeros, el mezclado se consigue como consecuencia de las turbulencias que se crean en el régimen de flujo. En los mezcladores estáticos, las turbulencias se producen como consecuencia de la disipación de energía, mientras que en los mezcladores mecánicos las turbulencias se consiguen mediante la aportación de energía con impulsores giratorios como las paletas, hélices y turbinas.

En la Figura 2-5 se ilustran dispositivos típicos empleado para el mezclado en las plantas de tratamientos de aguas residuales.

En cambio, las mezclas continuas tienen su aplicación en aquellos casos en los que debe mantenerse en suspensión el contenido del reactor o del depósito y puede llevarse a cabo mediante diversos sistemas, entre los cuales se encuentran:

- Los mezcladores mecánicos.
- Mecanismos neumáticos.
- Mezcladores estáticos.
- Por bombeo.

El mezclado mecánico se lleva a cabo mediante los mismos procedimientos y medios que el mezclado rápido continuo. El mezclado neumático comporta la inyección de gases, que constituye un factor importante en el diseño de los canales de aireación del tratamiento biológico del agua residual. Un canal con pantallas deflectoras es un tipo de mezclador estático que se emplea en el proceso de floculación.

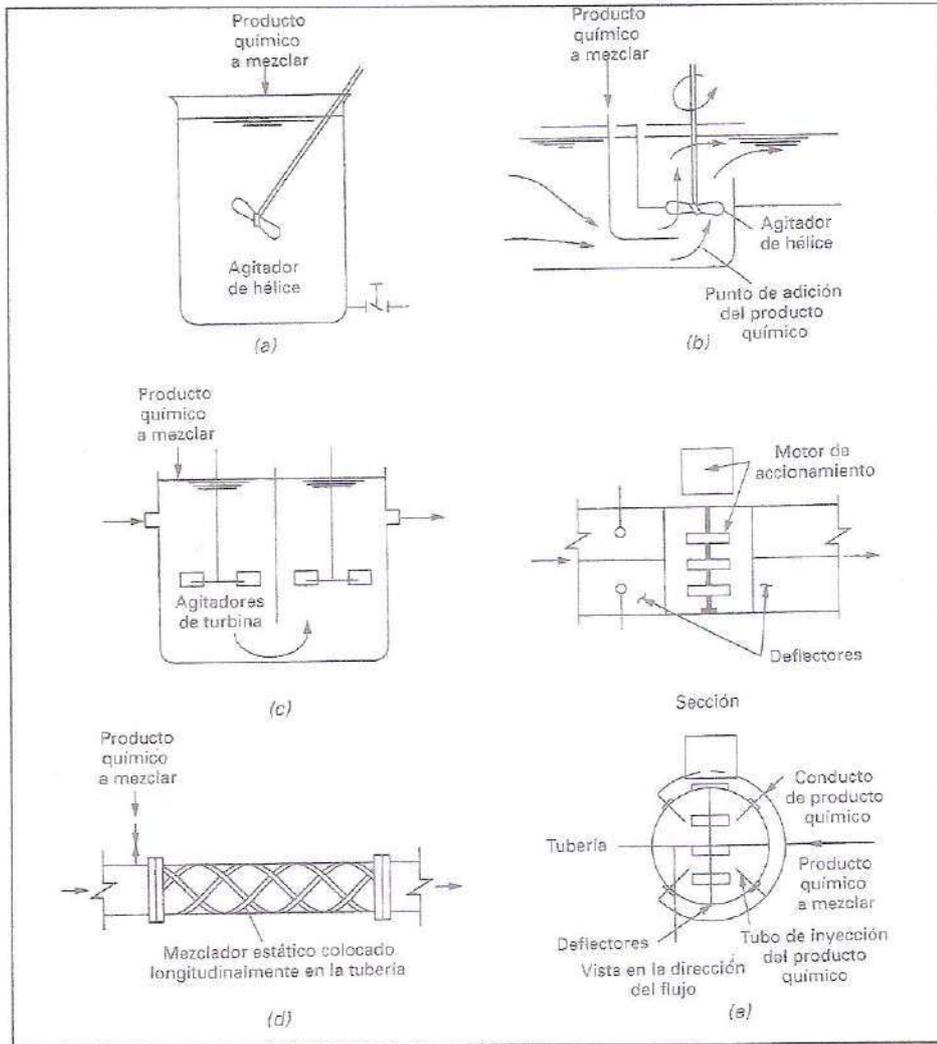


Figura 2-5. Agitadores típicos: (a) y (b) Agitador de hélice (c) Mezclador de turbina (d) Mezclador estático (e) Mezclador de turbina en línea.

2.6.1.3. Sedimentación

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de las aguas residuales.

Esta operación se utiliza para la eliminación de arenas, de la materia en suspensión en floculo biológico en los decantadores secundarios en los procesos de fango activado, tanques de decantación primaria, de los floculos químicos cuando se emplea la coagulación química, y para la concentración de sólidos en los espesadores de fango. En la mayoría de los casos, el objetivo principal es la obtención de un efluente clarificado, pero también es necesario producir un fango cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo. En el proyecto de tanques de sedimentación, es preciso prestar atención tanto a la obtención de un efluente clarificado como a la producción de un fango concentrado.



Se conoce también, la sedimentación acelerada, la cual se lleva a cabo aprovechando las propiedades de un campo de aceleraciones variable.

2.6.1.4. Flotación

La flotación es una operación unitaria que se emplea para la separación de partículas sólidas o líquidas de una fase líquida. La separación se consigue introduciendo finas burbujas de gas, normalmente aire, en la fase líquida.

En el tratamiento de aguas residuales, la flotación se emplea para la eliminación de la materia suspendida y para la concentración de los fangos biológicos. La principal ventaja del proceso de flotación frente al de sedimentación consiste en que permite eliminar mejor y en menos tiempo las partículas pequeñas o ligeras cuya deposición es lenta. Una vez las partículas se hallan en superficie, pueden recogerse mediante un rascado superficial.

La aplicación práctica de la flotación en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas se limita, en la actualidad, al uso del aire como agente responsable del fenómeno.

En todos estos sistemas, es posible mejorar el grado de eliminación y rendimiento mediante la introducción de aditivos químicos.

2.6.1.5. Filtración en medio granular

La filtración de efluentes procedentes de procesos de tratamiento de aguas residuales es una práctica relativamente reciente. Hoy en día, la filtración se emplea, de modo generalizado, para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión (incluida la DBO) de los efluentes de los procesos de tratamiento biológico y químico, y también se emplea para la eliminación del fósforo precipitado por vía química.

La operación completa de filtración consta de dos fases: filtración y lavado o regeneración (comúnmente llamado lavado a contracorriente). En la Figura 2-6 se muestran los esquemas de los principales tipos de filtros.

Se ha proyectado y construido diversos modelos y sistemas de funcionamiento de filtros. Los principales tipos de filtros de medio granular se clasifican atendiendo a:

- Tipo de funcionamiento.
- Tipo de medio filtrante empleado.
- Sentido de flujo durante la fase de filtración.
- Procedimiento de lavado a contracorriente.
- Método de control de flujo.

Según el tipo de funcionamiento, los filtros se pueden clasificar en continuos y semicontinuos. Los filtros semicontinuos se mantienen en funcionamiento hasta que se empieza a deteriorar la calidad del efluente o hasta que se produce una pérdida de carga excesiva en el filtro. Cuando se alcanza este punto, se detiene el filtro y se

procede a su lavado para eliminar los sólidos acumulados. En los filtros continuos, los procesos de filtración y lavado se llevan a cabo de manera simultánea.

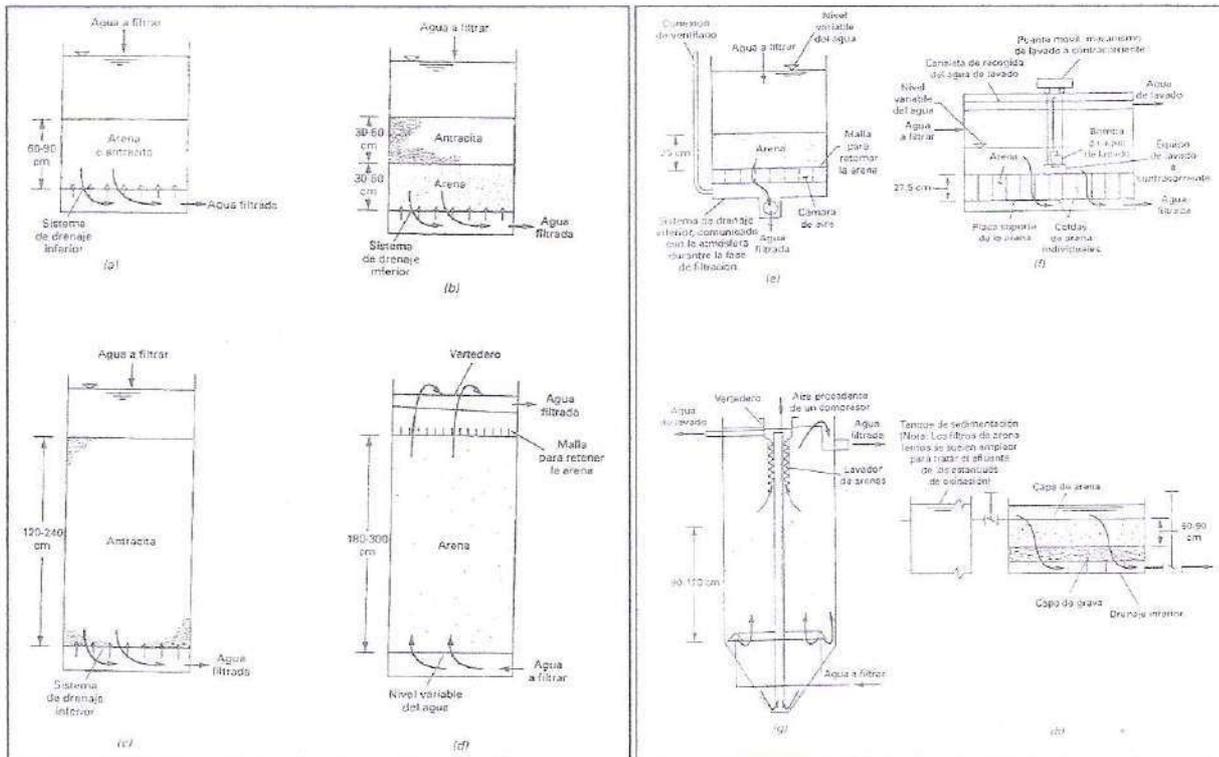


Figura 2-6. Tipos de filtros: (a) Filtro convencional, monomedio, flujo descendente; (b) Filtro convencional, bimedio, flujo descendente; (c) Filtro convencional, monomedio, de lecho profundo, flujo descendente; (d) Filtro de lecho profundo y flujo descendente; (e) Filtro de lecho pulsante; (f) Filtro de puente móvil; (g) Filtro de lecho profundo, flujo ascendente, y lavado a contra corriente continuo y (h) Filtro de arena lento.

Según el sentido del flujo durante la filtración, los principales tipos de filtros empleados para la filtración de efluente de aguas residuales se pueden clasificar en filtros de flujo ascendente y de flujo descendente.

Según los tipos de materiales filtrantes y configuración de los lechos filtrantes, los principales tipos de configuración de los lechos filtrantes empleados actualmente para la filtración de aguas residuales se pueden clasificar en función del número de capas de material filtrante, lo cual da lugar a los filtros de una única capa, los de doble capa y los filtros multicapa.

2.6.1.6. Transferencia de gases

La transferencia de gases se puede definir como el fenómeno mediante el cual se transfiere gas de una fase a otra, normalmente de la fase gaseosa a la líquida. Es una componente esencial de gran número de los procesos de tratamiento del agua residual. Por ejemplo, el funcionamiento de los procesos aerobios, tales como la filtración biológica, los fangos activados y la digestión aerobia, depende de la disponibilidad de cantidades suficientes de oxígeno. Para alcanzar los objetivos de desinfección se



transfiere cloro en forma gaseosa a una disolución en agua. Es frecuente añadir oxígeno al efluente tratado después de la coloración.

2.6.2. Procesos químicos unitarios

Los procesos empleados en el tratamiento de las aguas residuales en los que las transformaciones se producen mediante reacciones químicas reciben el nombre de procesos químicos unitarios.

Los procesos químicos unitarios se llevan a cabo en combinación con las operaciones físicas unitarias y los procesos biológicos unitarios.

En la Tabla 2-5 se ven los procesos a describir y sus principales aplicaciones.

2.6.2.1. Precipitación química

La precipitación química en el tratamiento de las aguas residuales lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, y facilitar su eliminación por sedimentación.

El grado de clarificación resultante depende tanto de la cantidad de productos químicos que se añade como del nivel de control de los procesos. Mediante precipitación química, es posible conseguir efluentes clarificados básicamente libres de materia en suspensión o en estado coloidal y se puede llegar a eliminar del 80% al 90% de la materia total suspendida, entre el 40% y el 70% de la DBO₅, del 30% al 60% de la DQO y entre el 80% y el 90% de las bacterias.

Los productos químicos que se añaden al agua residual reaccionan con las sustancias habitualmente presentes en el agua, o que se añaden a ella para tal fin.

2.6.2.2. Desinfección

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos que causan enfermedades. No todos los organismos se destruyen durante el proceso, punto en el que radica la principal diferencia entre la desinfección y la esterilización, proceso que conduce a la destrucción de la totalidad de los organismos. En el campo de las aguas residuales, las tres categorías de organismos entéricos de origen humano de mayores consecuencias en la producción de enfermedades son las bacterias, los virus y los quistes amebianos. Las enfermedades bacterianas típicas transmitidas por el agua son: el tifo, el cólera, el para tifo y la disentería bacilar, mientras que las enfermedades causadas por los virus incluyen, entre otras, la poliomielitis y la hepatitis infecciosa. Aquí se verán los conceptos generales que intervienen en el proceso de desinfección de microorganismos.

Es importante que los desinfectantes sean seguros en su aplicación y manejo, y que su fuerza o concentración en las aguas tratadas sea medible y cuantificable. Los métodos más empleados para llevar a cabo la desinfección son: agentes químicos; agentes físicos; medios mecánicos, y radiación.



Proceso	Aplicación
Precipitación química	Eliminación de fósforo y mejora de la eliminación de sólidos en suspensión en las instalaciones de sedimentación primaria empleadas en tratamientos fisicoquímicos
Adsorción	Eliminación de materia orgánica no eliminada con métodos convencionales de tratamiento químico y biológico. También se emplea para decolorar el agua residual antes de su vertido final
Desinfección	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades (puede realizarse de diversas maneras)
Desinfección con cloro	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades. El cloro es el producto químico más utilizado
Decoloración	Eliminación del cloro combinado residual total remanente después de la cloración (puede realizarse de diversas maneras)
Desinfección con dióxido de cloro	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades
Desinfección con cloruro de bromo	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades
Desinfección con ozono	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades
Desinfección con luz ultravioleta	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades
Otros	Para alcanzar objetivos específicos en el tratamiento de las aguas residuales, se pueden emplear otros compuestos químicos

Tabla 2-5. Aplicaciones de los procesos químicos unitarios en el tratamiento del agua residual

2.6.2.2.1. Agentes químicos

Los agentes químicos utilizados para la desinfección incluyen: el cloro y sus compuestos; el bromo; el yodo; el ozono; el fenol y los compuestos fenólicos; los alcoholes; los metales pesados y compuestos afines; los colorantes; los jabones; los compuestos amoniacales cuaternarios; el agua oxigenada, y ácidos y álcalis diversos.

Los desinfectantes más corrientes son los productos químicos oxidantes, de los cuales el cloro es el más universalmente empleado, aunque también se ha utilizado, para la desinfección del agua residual, el bromo y el yodo. El ozono es un desinfectante muy eficaz cuyo uso va en aumento, a pesar de que no deja una concentración residual que permita valorar su presencia después del tratamiento. El agua muy ácida o muy alcalina también se ha empleado para la destrucción de bacterias patógenas, ya que el agua con pH inferior a 3 o superior a 11 es relativamente tóxica para la mayoría de las bacterias.

2.6.2.2.2. Agentes físicos

Los desinfectantes físicos que se pueden emplear son la luz y el calor. El agua caliente a la temperatura de ebullición, por ejemplo, destruye las principales bacterias



causantes de enfermedades y no formadoras de esporas. El calor se suele emplear con frecuencia en las industrias lácticas y de bebidas, pero su aplicación al agua residual no es factible debido al alto coste que supondría. Sin embargo, la pasteurización del fango es una práctica habitual en toda Europa.

2.6.2.2.3. Medios mecánicos

Las bacterias también se pueden eliminar, durante el tratamiento del agua residual, empleando medios mecánicos, algunos procesos de tratamiento son: tamices de malla gruesa, tamices de malla fina, desarenadores, sedimentación química, filtros percoladores, fangos activados, cloración del agua residual tratada. Los primeros cuatro procesos están considerados como procesos físicos. Las eliminaciones conseguidas se obtienen como subproducto de la función primaria del proceso.

2.6.2.2.4. Radiación

Los principales tipos de radiación son la radiación electromagnética, la acústica y la radiación de partículas. Los rayos gamma se emiten a partir de elementos radioisótopos. Dado su poder de penetración, los rayos gamma se han utilizado tanto para la desinfección (esterilización) del agua potable como del agua residual.

2.6.2.3. Desinfección con cloro

Como ya se ha comentado anteriormente, de todos los desinfectantes empleados, el cloro es quizás el más universalmente utilizado.

Los compuestos de cloro más comúnmente empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el cloro gas, el hipoclorito sódico, el hipoclorito de calcio, y el dióxido de cloro. Los hipocloritos sódico y cálcico se suelen emplear en las plantas pequeñas, especialmente en las prefabricadas, en las que la simplicidad y seguridad son criterios de mayor peso que el coste. El hipoclorito de sodio también se emplea en las plantas de gran tamaño, principalmente por cuestiones de seguridad relacionadas con las condiciones locales. El dióxido de cloro también se emplea en las instalaciones de tratamiento, debido a que tiene algunas propiedades poco frecuentes (no reacciona con el amoníaco). A pesar de que también se emplean otros compuestos del cloro, el análisis que sigue a continuación se limitará al estudio de la aplicación de cloro gas, por ser la forma más extensamente adoptada.

Cuando se utiliza el cloro para la desinfección del agua residual, los principales parámetros medibles, además de las variables ambientales tales como el pH o la temperatura, son el número de organismos y el cloro residual remanente después de un periodo de tiempo determinado. El grupo de los organismos coliformes se puede determinar empleando el procedimiento del número más probable (NMP) o mediante el método de recuento en placas

La experiencia ha demostrado que la efectividad de los procesos de cloración puede variar notablemente entre diferentes plantas a pesar de que tengan diseños muy parecidos y que las características de sus efluentes, expresados en DBO₅, DQO y contenido de nitrógeno, sean muy parecidas. Por lo tanto, el tipo de proceso de



tratamiento empleado en cada una de las plantas también es un factor de influencia en el proceso de cloración.

Otro factor que también debe tenerse en cuenta es la presencia, en el agua residual a clorar, de sólidos en suspensión. La alta mortalidad bacteriana inicial se debe a la destrucción de bacterias individuales y pequeñas colonias de bacterias. La siguiente fase de la eliminación de bacterias está controlada por la presencia de sólidos en suspensión.

2.6.2.4. *Decloración*

La decloración es la práctica que consiste en la eliminación de la totalidad del cloro combinado residual presente en el agua después de la cloración para reducir los efectos tóxicos de los efluentes descargados a los cursos de agua receptores o destinados a reutilización.

Como se ha señalado anteriormente, algunas de los compuestos orgánicos presentes en el agua residual pueden causar interferencias en el proceso de cloración. Muchos de estos compuestos pueden reaccionar con el cloro para formar compuestos tóxicos, que pueden tener efectos adversos a largo plazo sobre los usos de las aguas a las que se descargan. A fin de minimizar los efectos de esta toxicidad potencial del doro residual sobre el medio ambiente, se ha considerado necesario declorar el agua residual previamente clorada.

El producto químico que más se emplea para llevar a cabo la decloración, tanto SI es necesaria para cumplir las limitaciones de vertidos, como si se aplica para mejorar la calidad del efluente de la cloración al breakpoint para la eliminación del nitrógeno amoniacal, es el dióxido de azufre. También se ha empleado con este fin carbón activado. Otros compuestos que también se han venido empleando son el sulfito de sodio y el metabisulfito de sodio.

2.6.2.5. *Desinfección con dióxido de cloro*

El dióxido de cloro es otra sustancia bactericida cuyo poder de desinfección es igual o superior al del cloro, y que se ha comprobado que resulta más efectivo que el cloro en la inhibición e inactivación de virus. En el pasado, el uso del dióxido de cloro no había sido considerado viable debido a su alto coste económico.

La generación del dióxido de cloro debe llevarse a cabo in situ debido a que se trata de un gas inestable y explosivo.

El dióxido de cloro tiene un potencial de oxidación extremadamente alto, lo cual puede explicar su potencial germicida. Debido a este alto potencial de oxidación, es posible que los mecanismos bactericidas que provoca tengan que ver con la inactivación de los sistemas de enzimas críticos, o con la interrupción y destrucción del proceso de síntesis de proteínas.

La utilización de dióxido de cloro puede dar lugar a la formación algunos productos finales potencialmente tóxicos, como el clorito y el clorato, y a su presencia en forma de

componentes del cloro residual total. Las cantidades de dióxido de cloro residual y de los productos finales de la reacción se degradan a mayor velocidad que el cloro residual, por lo que pueden no representar una amenaza tan directa para la vida acuática como lo es el cloro residual. Una ventaja del uso del dióxido de cloro es que no reacciona con el amoníaco para dar paso a la formación de las cloraminas, que son potencialmente tóxicas. También se ha podido comprobar que no se forman compuestos orgánicos halogenados en cantidades apreciables. Este hecho es especialmente cierto en cuanto a la formación de cloroformo, que es una sustancia cuyos efectos cancerígenos están bajo sospecha.

El posible impacto ambiental ocasionado por el uso del dióxido de Cloro en la desinfección de las aguas residuales todavía no se conoce con exactitud. Se considera que los efectos producidos no son tan nocivos como los derivados del proceso de cloración. El dióxido de cloro no reacciona con el agua ni se disocia en ella, como ocurre con el cloro. No obstante, debido a que la formación del dióxido de cloro se suele conseguir a partir del cloro y del clorito de sodio, es posible que exista una cantidad remanente de cloro libre en la solución de dióxido de cloro resultante, con lo que el impacto sobre el medio ambiente acuático sería parecido al producido por la presencia de cloro residual. También existirá una cantidad residual de dióxido de cloro, pero se ha podido comprobar que su influencia no es tan nociva para el medio ambiente acuático.

2.6.2.6. *Desinfección con cloruro de bromo*

A pesar de que, en base a los datos disponibles, no es posible clasificar el cloruro de bromo como un desinfectante de efectividad demostrada, como el cloro, sí parece ser que el cloruro de bromo es tan fiable, flexible y efectivo como el cloro. Se ha podido comprobar que las bromaminas son germicidas más efectivos que las cloraminas, y se degradan a mayor velocidad. También se ha constatado que el cloruro de bromo inactiva la misma cantidad de polivirus que el cloro con la mitad de dosis. Aunque no se han llegado a establecer valores estándar del tiempo de contacto, sí es posible afirmar que el tiempo de contacto del cloruro de bromo suele ser inferior al necesario para la desinfección con cloro. Un tiempo de contacto igual al del cloro debería resultar más que adecuado para este desinfectante.

Es preciso llevar a cabo estudios más profundos para verificar las dosis de cloruro de bromo necesarias para obtener efluentes de determinada calidad, para determinar el método de aplicación del cloruro de bromo más eficaz y efectivo, para determinar la efectividad del cloruro de bromo para los usos auxiliares, y para obtener datos de campo adicionales sobre los efectos a corto y largo plazo del cloruro de bromo sobre la vida acuática en los cuerpos de agua receptores.

Debido a que el cloruro de bromo y el cloro presentan muchas similitudes, es de esperar que el impacto ambiental relacionado con el empleo de cloruro de bromo sea parecido al asociado al uso de cloro. No obstante, las investigaciones realizadas permiten afirmar que el impacto ambiental debido al uso del cloruro de bromo es menos dañino que el derivado del uso del cloro.



2.6.2.7. Desinfección con ozono

Un uso común del ozono en instalaciones se centra en el control de los agentes responsables de la producción de sabores, olores y colores. A pesar de que, históricamente, su uso estaba limitado a la desinfección de aguas de abastecimiento, los recientes avances en materia de generación de ozono y de la tecnología de disolución han permitido que el ozono se haya convertido en una posibilidad económicamente competitiva para la desinfección de las aguas residuales. En el tratamiento de las aguas residuales, el ozono también se puede emplear para el control de olores y para la eliminación de materia orgánica soluble refractaria, sustituyendo al proceso de adsorción con carbón activado.

El ozono se genera a partir del aire, o de oxígeno puro, al hacer circular una corriente de alto voltaje entre dos electrodos separados por un espacio muy pequeño. La corona de alta energía que se produce con este sistema permite disociar una molécula de oxígeno para, al juntarse con otras dos, producir dos moléculas de ozono.

El ozono es un oxidante extremadamente reactivo, y está ampliamente aceptado que la destrucción de las bacterias por ozonación se produce directamente debido a la desintegración de la pared celular. El ozono también es un virucida muy efectivo, y, asimismo, se entiende que su efectividad es superior a la del cloro. La ozonación no produce sólidos disueltos ni se ve afectada por la presencia del ion amonio ni por el pH del agua que entra en el proceso de desinfección. Por estas razones se considera la ozonación como una alternativa viable a la cloración o la hipocloración, especialmente en aquellos casos en los que sea preciso declorar el agua desinfectada.

Al contrario de lo que sucede con los demás agentes desinfectantes estudiados, los efectos del ozono sobre el medio ambiente son esencialmente beneficiosos. Existe información que indica que, el ozono puede ser un tóxico agudo para la vida acuática. No obstante, dado que el ozono se disipa muy rápidamente, normalmente no es de esperar que exista cantidad alguna de ozono residual en el efluente en el momento de ser descargado a los cuerpos de agua receptores. Algunas investigaciones han concluido que el ozono puede producir algunos compuestos tóxicos mutagénicos o carcinógenos. No obstante, estos compuestos son inestables, y su presencia en el agua ozonada sólo se prolongaría por espacio de unos minutos. Por lo tanto, no es de suponer que estos compuestos estuvieran presentes en el efluente en el momento de la descarga a los cuerpos receptores de agua.

Otra de las ventajas que se deriva del empleo de ozono para la desinfección es que se elevará la concentración de oxígeno disuelto del efluente, hasta valores cercanos a la concentración de saturación, como consecuencia de la rápida descomposición del ozono en oxígeno. Este hecho puede permitir no tener que reairear el efluente para cumplir con las limitaciones normativas de calidad del efluente relacionadas con la concentración de oxígeno disuelto. Es más, debido a que el ozono se descompone rápidamente, no queda en el efluente ningún compuesto químico residual que precise ser eliminado como ocurría con el cloro residual.



2.6.3. *Procesos Biológicos Unitarios*

Los procesos de tratamiento en los que la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica se conocen como procesos biológicos unitarios.

Principalmente los objetivos del tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y la eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica.

El principal papel de los microorganismos es la eliminación de la DBO carbonosa, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables, y la estabilización de la materia orgánica se consiguen, biológicamente, gracias a la acción de una variedad de microorganismos, principalmente bacterias. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 8]

2.6.3.1. *Procesos biológicos de tratamiento*

Se pueden diferenciar los siguientes procesos biológicos:

- **Procesos Aerobios:** son aquellos procesos biológicos que se dan en presencia de oxígeno.
- **Procesos anaerobios:** son procesos de tipo biológicos que se dan en ausencia de oxígeno.
- **Desnitrificación anóxica o anaerobia:** es el proceso por el cual el nitrógeno de los nitratos se transforma, biológicamente, en nitrógeno gas en ausencia de oxígeno.
- **Eliminación biológica de nutrientes:** término aplicado a la eliminación del fósforo y el nitrógeno a través de procesos biológicos.
- **Procesos facultativos:** son los procesos de tratamiento biológico en los que los organismos responsables pueden funcionar en presencia o ausencia de oxígeno.
- **Eliminación de la DBO carbonosa:** Es la conversión biológica de la materia carbonosa del agua residual en tejido celular y en diversos productos gaseosos.
- **Nitrificación:** proceso biológico por el cual el amoníaco se transforma primero en nitrito y luego en nitrato.
- **Desnitrificación:** Proceso por el cual el nitrato se convierte en nitrógeno gas y en otros productos gaseosos.
- **Procesos de cultivo en suspensión:** son los procesos de tratamiento biológico en lo que los microorganismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual en gases y tejido celular, se mantienen en suspensión dentro del líquido.
- **Procesos de cultivo fijo:** Son los procesos de tratamientos biológicos en los que los organismos responsables de la conversión de la materia orgánica u otros constituyentes del agua residual en gases y tejido celular están fijados a un medio inerte, tal como piedras, escorias o materiales cerámicos plásticos especialmente diseñados para cumplir con esta función.

Los principales procesos biológicos de tratamiento son: procesos aerobios, procesos anaerobios, procesos anóxicos, procesos aerobios, anaerobios y anóxicos combinados, y los procesos de lagunaje.



2.6.3.2. *Procesos de tratamiento aerobio de cultivo en suspensión*

Entre los procesos de tratamiento biológico de cultivo en suspensión empleados para la eliminación de la materia orgánica carbonosa se encuentran los siguientes procesos.

2.6.3.2.1. Procesos de fangos activados

Su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia.

Desde el punto de vista de su funcionamiento, el proceso se inicia introduciendo el residuo orgánico en un reactor, donde se mantiene un cultivo aerobio en suspensión. El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o de aireadores mecánicos.

Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce hasta un tanque de sedimentación para su separación del agua residual tratada. Una parte de la células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga del sistema.

2.6.3.2.2. Lagunas aireadas

El proceso de lagunaje aireado es esencialmente el mismo que el de los fangos activados de aireación prolongada, excepto que se usa como reactor un depósito excavado en el terreno. El oxígeno necesario en el proceso se suministra mediante difusores o aireadores superficiales, y por ser aerobia, la totalidad de los sólidos se mantienen en suspensión.

La microbiología del proceso de lagunaje es similar al de los fangos activados, existen algunas diferencias, puesto que la gran superficie asociada a las lagunas aireadas puede dar lugar a efectos térmicos más señalados de lo que es normal en el proceso convencional de fangos activados.

2.6.3.2.3. Reactor discontinuo secuencial

Es un proceso de fangos activados cuyo funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de llenado y vaciado. Los procesos unitarios que intervienen son idénticos a los de un proceso convencional de fangos activados. En ambos sistemas intervienen la aireación y la sedimentación. No obstante, existe entre ambos una importante diferencia. En las plantas convencionales, los procesos se llevan a cabo simultáneamente en tanques separados, mientras que en los sistemas de reactor de flujo discontinuo secuencial, los procesos tienen lugar secuencialmente en el mismo tanque.

Particularmente este tipo de procesos consta de cinco etapas que transcurren en forma secuencial:



- Llenado: en esta fase se adiciona el agua residual o efluente primario, al reactor.
- Reacción: aquí se completan las reacciones iniciadas en la fase de llenado.
- Sedimentación: en esta etapa del proceso se produce la separación de sólidos, para conseguir un sobrenadante clarificado como efluente.
- Evacuación: se extrae aquí el efluente clarificado del reactor. Los métodos mas empleados para esta tarea son los vertederos flotantes o ajustables.
- Fase Inactiva: en un sistema de tanques múltiples, esta fase permite que un reactor termine su fase de llenado antes de conectar otra unidad. En algunos casos esta fase es omitida puesto que no es extremadamente necesaria.

La purga del fango es otro paso importante en el funcionamiento de esos procesos, que afecta de manera importante a su rendimiento. El proceso de purga no se incluye dentro de una de las cinco etapas básicas puesto que no existe un momento determinado dedicado a la eliminación del fango dentro del ciclo de funcionamiento. Generalmente este proceso se lleva a cabo en la etapa de sedimentación o en la fase inactiva. Este tipo de procesos tiene la particularidad que no necesita de un sistema de retorno del fango activado, debido a que tanto la aireación como la decantación tienen lugar en el mismo tanque. De manera que no se pierde cantidad de fango alguna en la fase de reacción, y no es necesario recircular parte del fango de la sedimentación para mantener constante el nivel de fangos en el tanque de aireación.

2.6.3.2.4. Digestión aerobia

Este es un proceso alternativo para tratar los fangos orgánicos producidos en el curso de las diversas operaciones de tratamiento. Los digestores aerobios se pueden emplear para el tratamiento de:

- Fangos activados o filtros percoladores.
- Mezclas de fangos activados con fangos primarios.
- Fango biológico en exceso de plantas de tratamiento de fangos activados sin sedimentación primaria.

En la digestión aerobia convencional, el fango se airea durante un largo periodo de tiempo en un tanque abierto, sin calefacción, empleado difusores convencionales o aireadores superficiales. El proceso se puede llevar a cabo de manera continua o discontinua.

En las plantas de pequeño tamaño se emplea el sistema discontinuo, en el que el fango de airea y se mezcla completamente durante un largo periodo de tiempo, dejándose sedimentar dentro de la misma cuba. En los sistemas continuos, la decantación y concentración del fango se realiza en un tanque independiente.

Generalmente se consideran los digestores aerobios como reactores de flujo arbitrario sin recirculación.



2.6.3.3. *Procesos de tratamiento aerobio de cultivo fijo*

Los procesos de tratamiento aerobio de cultivo fijo se utilizan generalmente para el tratamiento de aguas residuales en busca de la eliminación de la materia orgánica e incluso para realizar el proceso de nitrificación.

2.6.3.3.1. Filtros percoladores

El filtro percolador consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los organismos y a través del cual percola el agua residual. El medio filtrante suele estar formado por piedras (en ocasiones también se utilizan escorias), o diferentes materiales plásticos de relleno.

Los filtros que son de piedra suelen ser circulares, y el agua residual se distribuye por la parte superior del filtro mediante un distribuidor rotatorio. Los filtros que emplean lechos de material plástico pueden tener diversas formas, habiéndose construido filtros circulares, cuadrados y de otras formas diversas.

Los filtros incluyen un sistema de drenaje inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se haya separado del medio.

El líquido recogido pasa a un tanque de sedimentación en el que se separan los sólidos del agua residual. En la práctica, se recicla una parte del líquido recogido en el sistema de drenaje inferior o del efluente del tanque de sedimentación, para diluir la concentración del agua residual que entra en el sistema y para mantener la humedad de la película biológica.

2.6.3.3.2. Filtros de desbaste

Los filtros de desbaste son filtros percoladores especialmente diseñados para trabajar con cargas hidráulicas elevadas. Se usan principalmente, para reducir la carga orgánica aplicada a los procesos posteriores y para obtener una nitrificación estacional, caso en el que se emplean para reducirla carga orgánica aplicada al proceso biológico situado a continuación en el proceso, con el objetivo de que se pueda conseguir la nitrificación en los meses de verano. Al igual que los demás procesos biológicos, el funcionamiento de los filtros de desbaste depende de la temperatura.

Los filtros de desbaste se suelen usar con cargas hidráulicas elevadas, por lo que necesitan una tasa alta de recirculación. El hecho de que las cargas biológicas sean tan elevadas, hace que el fenómeno de arrastre de la capa biológica se produzca, casi, de forma continua. Si se emplea un efluente no sedimentado para la recirculación, los sólidos biológicos presentes en el caudal de recirculación pueden contribuir a la eliminación de materia orgánica como si se tratara de un sistema de cultivo en suspensión. Cuando se produce este mecanismo, se pueden alcanzar rendimientos superiores a los previstos mediante un modelo de cultivo fijo.

Dado que el tiempo de retención hidráulica en los filtros de desbaste es relativamente corto, la materia orgánica que no se puede biodegradar rápidamente no se ve prácticamente afectada en el proceso.



2.6.3.3.3. Sistemas biológicos rotativos de contacto (Biodiscos)

Un reactor biológico rotativo de contacto consiste en una serie de discos circulares de poliestireno, o cloruro de polivinilo, situados sobre un eje, a corta distancia uno de otros. Los discos están parcialmente sumergidos en el agua residual y giran lentamente en el seno de la misma.

En este tipo de sistemas, los crecimientos biológicos se adhieren a las superficies de los discos, hasta formar una película biológica sobre la superficie mojada de los mismos. La rotación de los discos pone la biomasa en contacto, de forma alternativa, con la materia orgánica presente en el agua residual y con la atmósfera, para la adsorción de oxígeno. La rotación del disco induce la transferencia de oxígeno y mantiene la biomasa en condiciones aerobias. La rotación también es el mecanismo de eliminación del exceso de sólidos en los discos por medio de los esfuerzos cortantes que origina y sirve para mantener en suspensión los sólidos arrastrados, de modo que puedan ser transportados desde el reactor hasta el clarificador. Los biodiscos se pueden utilizar como tratamientos secundarios, y también, se pueden emplear para la nitrificación y la desnitrificación estacionales o permanentes.

2.6.3.3.4. Reactores de lecho compacto

Utilizado tanto para la eliminación de la DBO carbonosa como para la nitrificación, un reactor de lecho compacto consiste en un tanque, el reactor, en el que existe un medio al que se adhieren los microorganismos. El agua residual se introduce en el tanque por su parte inferior mediante un sistema de distribución adecuado o mediante una cámara de alimentación. El aire u oxígeno puro necesario para el proceso se introduce conjuntamente con el agua residual tratar.

2.6.3.4. *Procesos de tratamiento anaerobio de cultivos en suspensión*

En los últimos años se han desarrollado numerosos tratamientos para el tratamiento de fangos y residuos de alto contenido de materia orgánica. De todos los procesos anaerobios de cultivo en suspensión, el más común es la digestión anaerobia de mezcla completa. Debido a que la importancia del proceso de mezcla completa es fundamental en la estabilización de la materia orgánica y de los sólidos biológicos.

2.6.3.5. *Digestión anaerobia*

En este proceso se produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. Sus principales aplicaciones han sido, y siguen siendo hoy en día, la estabilización de fangos concentrados producidos en el tratamiento del agua residual y de determinados residuos industriales. Sin embargo, recientemente se ha demostrado que los residuos orgánicos diluidos también se pueden tratar anaeróbicamente.

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica contenida en la mezcla de fangos primarios y biológicos se convierte biológicamente, bajo condiciones anaerobias, en metano y dióxido de carbono. El proceso se lleva a cabo en un reactor completamente cerrado.



Los fangos se introducen en el reactor de forma continua o intermitente, y permanecen en su interior durante periodos de tiempo variables. El fango estabilizado, que se extrae del proceso continua o intermitentemente, tiene un bajo contenido de materia orgánica y patógena, y no es putrescible.

Los dos tipos de digestores anaerobios más empleados son los de alta y baja carga. En el proceso de digestión de baja carga, no se suele calentar ni mezclar el contenido del digestor, y los tiempos de detención oscilan entre 30 y 60 días. En los procesos de digestión de alta carga, el contenido del digestor se calienta y se mezcla completamente. EL tiempo de detención necesario suele ser de 15 días o menos. La combinación de estos dos procesos se suele conocer con el nombre de doble etapa. La función básica de la segunda etapa consiste en separar los sólidos digeridos de líquido sobrenadante, aunque puede tener lugar una digestión adicional y una cierta producción de gases.

Las ventajas e inconvenientes que presentan los tratamientos anaerobios de un residuo orgánico, en comparación con el tratamiento aerobio, vienen condicionadas por el lento crecimiento de las bacterias formadoras de metano. El lento crecimiento de estas bacterias obliga a tiempos de detención más dilatados para conseguir una adecuada estabilización de los residuos. No obstante, este bajo crecimiento implica que sólo una pequeña parte del residuo orgánico biodegradable está siendo sintetizado en forma de nuevas células. Mediante la acción de las bacterias metanogénicas, la mayor parte del residuo orgánico se transforma en metano, que es un gas combustible y, por ello, un producto final útil.

La materia sólida resultante de estos procesos suele estar bien estabilizada. Tras un proceso de deshidratación o de secado, se convierte esta materia estabilizada, en un material apto para su evacuación en vertederos, para el compostaje o para su aplicación en el terreno.

Como principal inconveniente presenta el hecho que para realizar un proceso anaerobio adecuado, son necesarias altas temperaturas. Ahora, esto sucede cuando no se puede contar con tiempos medios de retención celular suficientemente largos a temperaturas nominales.

2.6.3.5.1. Proceso anaerobio de manto de fango de flujo ascendente

En este proceso, el residuo que se quiere tratar se introduce por la parte inferior del reactor. El agua residual fluye en sentido ascendente a través de un manto de fango constituido por gránulos o partículas formadas biológicamente. El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y las partículas. Los gases producidos en condiciones anaerobias, provocan una circulación interior, que colabora en la formación y mantenimiento de los gránulos.

Parte del gas generado dentro del manto del fango se adhiere a las partículas biológica. Tanto el gas libre como las partículas a las que se ha adherido el gas, ascienden hacia la parte superior del reactor. Allí, se produce la liberación del gas adherido a las partículas, al entrar éstas en contacto con unos deflectores desgasificadores. Las partículas desgasificadas suelen volver a caer hasta la superficie



del manto de fango. El gas libre y el gas liberado de las partículas se captura en una bóveda de recogida de gases instalada en la parte superior del reactor.

El líquido, que contiene algunos sólidos residuales y algunos de los gránulos biológicos, se conduce a una cámara de sedimentación, donde se separan los sólidos residuales. Los sólidos separados se reconducen a la superficie del manto de fango a través del sistema de deflectores.

2.6.3.6. *Procesos de tratamiento anaerobio de cultivos fijo*

Los procesos anaerobios de tratamiento más empleados son el de filtro anaerobio y el de lecho expandido.

El filtro anaerobio es una columna rellena de diversos tipos de medios sólidos que se utiliza para el tratamiento de la materia orgánica carbonosa contenida en el agua residual. El agua a tratar fluye en sentido ascendente, entrando en contacto con el medio sobre el que se desarrollan y fijan las bacterias anaerobias. Dado que las bacterias están adheridas al medio y no son arrastradas por el efluente, se pueden obtener tiempos medios de retención celular del orden de los cien días. Generalmente este tipo de procesos se emplean para el tratamiento de residuos de baja concentración a temperatura ambiente.

En el proceso de lecho expandido, el agua residual a tratar se bombea a través de un lecho de material adecuado, en el que se ha desarrollado un cultivo biológico.

El efluente se recircula para diluir el agua entrante y para mantener un caudal adecuado que asegure que el medio se halle expandido.

Tiene la ventaja de producir una cantidad de fango considerablemente menor que otros métodos aerobios, además de presentar la facilidad de la recuperación del metano, que se puede utilizar como gas.

2.6.3.7. *Procesos de tratamiento por lagunaje (Estanques)*

Los sistemas de lagunaje se pueden clasificar, en relación con la presencia de oxígeno, en: aerobios, de maduración, facultativos y anaerobios.

2.6.3.7.1. Estanques de estabilización aerobia

Es la forma más simple de estanques que existe, son de estabilización aerobia y constituyen grandes depósitos excavados en el terreno, de poca profundidad, que se emplean para el tratamiento del agua residual por medio de procesos naturales que incluyen la utilización de algas y de bacterias.

Estos estanques de estabilización aerobia contienen bacterias y algas en suspensión, existiendo condiciones aerobias en toda su profundidad. Existen dos tipos básicos de estanques aerobios. En el primer tipo, el objetivo es maximizar la producción de algas. En el segundo tipo de estanques, el objetivo es maximizar la cantidad de oxígeno producido.



En ambos tipos, el oxígeno, además del producido por algas, penetra en el líquido por la difusión atmosférica. Para optimizar los resultados, es conveniente mezclar periódicamente el contenido de los estanques por medio de bombas o de aireadores de superficie.

En los estanques aerobios, la eficacia de la eliminación de la DBO_5 es alta, situándose por encima del 95%. Sin embargo, es necesario recordar que, aun cuando se haya conseguido eliminar la DBO soluble del agua residual a tratar, el alto contenido en algas y bacterias del efluente del estanque puede ejercer valores de la DBO_5 superiores a los del agua afluente.

2.6.3.7.2. Estanques de Maduración Terciarios

Los estanques de maduración se diseñan para mejorar la calidad de los efluentes secundarios y para la nitrificación estacional. Los mecanismos biológicos involucrados son similares a los de otros procesos aerobios de cultivo en suspensión. Su funcionamiento implica la respiración endógena de los sólidos biológicos residuales y la conversión del amoníaco en nitrato mediante el oxígeno suministrado por reaeración superficial y por la presencia de algas.

4.3.8.3. Estanques Facultativos

Los estanques de estabilización facultativos, llevan a cabo el proceso a partir de bacterias facultativas, anaerobias y aerobias. En estos estanques facultativos existen tres zonas, una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica, como se ha descrito anteriormente; La segunda zona, es una zona anaerobia en la que se descomponen activamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias; en la tercer zona, intermedia, es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas.

Este tipo de estanques son excavados en el terreno que se alimentan con agua residual procedente de un proceso previo de desbaste o con el efluente de un tratamiento primario. Los sólidos de gran tamaño sedimentan para formar una capa de fango anaerobio. Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las abundantes algas presentes cerca de la superficie.

La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de fango comporta la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el dióxido de carbono, que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera.

En la práctica, la presencia de oxígeno en la capa superior del estanque se consigue por las algas o mediante aireadores de superficie. Si se emplean estos últimos, no es necesaria la presencia de algas. La ventaja de utilizar aireadores de superficie reside en que ello posibilita aplicar cargas orgánicas más elevadas. Sin embargo, la carga orgánica aplicada no debe exceder de la cantidad de oxígeno que pueda ser suministrada por los aireadores sin que se produzca un mezclado completo del



contenido del estanque, ya que en este caso se pierden las ventajas derivadas de la descomposición anaerobia.

2.6.3.7.3. Estanques Anaerobios

Este tipo de estanques se usa para el tratamiento del agua residual de alto contenido orgánico que también contenga una alta concentración de sólidos.

Generalmente, un estanque anaerobio es un estanque profundo escavado en el terreno, dotado de un sistema de conducción de entrada y uno de salida. Los residuos a tratar en el estanque sedimentan en el fondo del mismo, y el efluente parcialmente clarificado se vierte, normalmente, a otro proceso posterior.

Estos estanques anaerobios, los son en toda su profundidad, excepto en una estrecha franja cercana a la superficie. Normalmente es fácil conseguir, de forma continua, rendimientos en la eliminación de la DBO₅ superiores al 70%. En condiciones óptimas de funcionamiento es posible conseguir eficacias de eliminación de hasta el 85%.

2.7. Proyecto de instalaciones para procesos físicos y químicos

Las operaciones físicas se emplean para la separación de sólidos de gran tamaño, sólidos suspendidos y flotantes, grasas y compuestos orgánicos volátiles. Los procesos químicos se emplean para la precipitación de sólidos suspendidos y coloidales, desinfección del agua residual, y control de olores. Los procesos y operaciones con mayor importancia son:

- Rejas y tamices
- Dilaceradores
- Desrenadores
- Sedimentación primaria
- Desinfección con cloro.

[Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 9]

2.7.1. Rejas de barras y tamices

El primer paso en el tratamiento del agua residual consiste en la separación de los sólidos gruesos. El procedimiento más habitual se basa en hacer pasar el agua residual bruta a través de rejas de barras o tamices.

Los materiales retenidos en las rejas y tamices se conocen con el nombre de residuos o basuras. Los residuos de tamaño grande consisten en desechos tales como piedras, ramas, trozos de chatarra, papel, etc. También se puede separar materia orgánica. Los residuos finos consisten en materiales retenidos en tamices con aberturas libres inferiores a 15mm. Los tamices con aberturas entre 2 y 6mm retienen del 5 al 10% de los sólidos suspendidos afluentes, mientras los tamices con aberturas entre 0,75 y 1,5mm pueden retener entre el 10 y el 15 %.



Debido a la presencia de materia putrescible, incluida la materia fecal patógena, es necesario manejar y eliminar los residuos adecuadamente. Los residuos finos contienen cantidades substanciales de grasas y espumas, razón por la que requieren similar atención. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 9]

2.7.2. Rejas de barras

Las rejas de barras se pueden limpiar manual o mecánicamente. A continuación se analizan los detalles de cada tipo de reja, así como los factores que hay que considerar en el proyecto de instalaciones de rejas. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 9]

2.7.2.1. Rejas de limpieza manual

Las rejas de este tipo se emplean frecuentemente, en pequeñas estaciones de bombeo de agua residual antes de las bombas.

En los casos en los que se utilice rejas de limpieza manual, la longitud no deberá exceder de la que permita su correcta limpieza, aproximadamente 3m. Las barras que conforman la reja no suelen exceder los 10mm de anchura por 50mm de profundidad. En la parte superior deberá colocarse una placa perforada para que los elementos recogidos se puedan almacenar temporalmente para su drenaje.

El canal donde se ubica la reja se debe proyectar de modo que se evite la acumulación en el mismo de arenas y demás materiales pesados, tanto antes como después de la reja.

Es esencial que la velocidad de aproximación se limite a, aproximadamente, 0,45 m/s a caudal medio, para limitar la velocidad se puede obtener ensanchando el canal en la zona de ubicación de la reja y colocándola con una inclinación mas suave para aumentar la superficie sumergida.

2.7.2.2. Rejas de limpieza mecánica.

Los diseños más modernos incluyen la utilización de materiales resistentes a la corrosión tales como el acero inoxidable o los materiales plásticos. Las rejas de limpieza mecánica se dividen en cuatro tipologías principales:

- Rejas de funcionamiento mediante cadenas
- Rejas de movimiento oscilatorio
- Catenarias
- Rejas accionadas mediante cables.

En la Figura 2-7 se ilustran los diferentes tipos de rejas de limpieza mecánica.

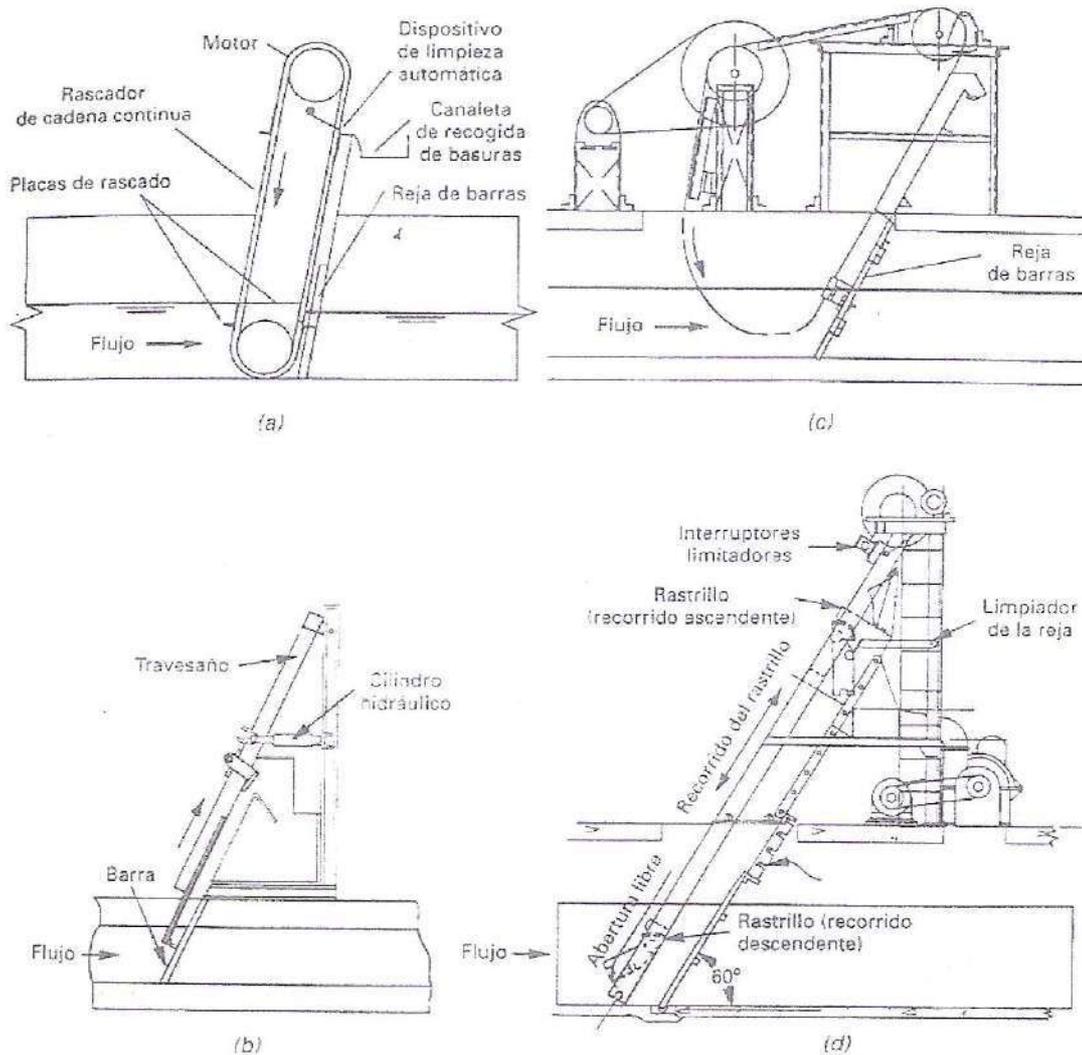


Figura 2-7. Tipos de Rejas.

Las rejas de limpieza mecánica (véase Figura 2-7a) que emplean cadenas se pueden dividir en diferentes categorías según que la limpieza se lleve a cabo por la cara anterior (aguas arriba) de la reja o por la cara posterior de la misma (aguas abajo), y en función de la cara de la reja por la cual el peine rascador se desplaza hasta la zona inferior de aquélla.

Las rejas de barras de limpieza mediante movimientos oscilatorios (véase Figura 2-7 b) imitan la secuencia de movimientos de una persona que rastrilla la reja.

En el caso de las rejas de catenaria de limpieza y retorno frontales (véase Figura 2-7 c), el rastrillo se mantiene en contacto con la reja gracias al peso de la cadena.

Las rejas de limpieza mecánica accionadas mediante cables (véase Figura 2-7 d) son de limpieza y retorno frontales que emplean un rastrillo pivotante que asciende y desciende por unas guías accionado por un dispositivo formado por un cable y un tambor.



2.7.2.3. Proyecto de instalaciones de rejas de limpieza mecánica.

En la mayoría de las plantas, se suele disponer un mínimo de dos unidades de rejas, de modo que sea posible dejar una de ellas fuera de servicio para realizar las labores de mantenimiento. Asimismo, es conveniente la instalación de compuertas de canal aguas arriba y abajo de cada reja, de modo que sea posible dejar la unidad en seco, para llevar a cabo operaciones de pintado, sustitución de algún cable o cadena, cambio de dientes, eliminación de obstrucciones, y enderezamiento de barras dobladas. Si sólo se instala una unidad, es imprescindible incorporar un canal de by pass con una reja de limpieza manual para su uso en casos de emergencia.

Normalmente, los residuos extraídos por el mecanismo de limpieza se descargan directamente a una tolva o a un contenedor, a una mesa de clasificación, o a un compactador de basuras. En instalaciones con múltiples unidades, los residuos se pueden descargar a una cinta transportadora o a un sistema de evacuación neumático para su transporte a una tolva de almacenamiento, compactador o incinerador, común para todas ellas. Como alternativa a este procedimiento, para triturar y desmenuzar las basuras, se pueden emplear dispositivos trituradores. Una vez triturados, los residuos se reintegran al agua residual. Para la protección de los mecanismos de la parte superior de las rejas situada por encima del nivel del agua, es conveniente instalar casetas metálicas con puertas de acceso.

2.7.3. Dilaceración

Como alternativa a las rejas y tamices gruesos, se pueden emplear dilaceradores para triturar los sólidos gruesos sin separarlos del flujo. Los dilaceradores se emplean para triturar los sólidos gruesos con objeto de mejorar las operaciones y procesos que se llevan a cabo a continuación, y para eliminar los problemas que producen los diferentes tamaños de los sólidos presentes en el agua residual. Los sólidos se trituran para conseguir partículas de tamaño menor y más uniforme, que se reincorporan al flujo para su eliminación en operaciones y procesos que hay que llevar a cabo aguas abajo de los dilaceradores.

Los problemas que los sólidos triturados presentan en los procesos situados aguas abajo del dilacerador suponen uno de los inconvenientes del uso de los mismos. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 9]

2.7.4. Eliminación de arenas

La eliminación de arenas se puede llevar a cabo en desarenadores o mediante la centrifugación del fango. Los desarenadores se proyectan para separar arenas, término que engloba a las arenas propiamente dichas, grava, cenizas y otros materiales pesados cuyo pesos específicos o velocidades de sedimentación son considerablemente superiores a los de los sólidos orgánicos putrescibles. Al margen de estos materiales, la arena también incluye cáscaras de huevo, pedazos de hueso, semillas, granos de café, y partículas orgánicas de gran tamaño tales como residuos de comidas. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 9]



2.7.4.1. Desarenadores

Las funciones de los desarenadores son:

- Proteger los elementos mecánicos móviles de la abrasión y el excesivo desgaste.
- Reducción de la formación de depósitos pesados en el interior de las tuberías, canales y conducciones.
- Reducción de la frecuencia de limpieza de los digestores provocada por la excesiva acumulación de arenas.

Los desarenadores se suelen colocar después del desbaste y antes de los tanques de sedimentación primaria, aunque en algunas instalaciones, el desarenador precede al desbaste.

Normalmente, la ubicación de los desarenadores antes del bombeo del agua residual, en los casos en los que resulte conveniente, comportará la instalación de los mismos a una profundidad considerable, lo cual implicará un coste adicional. Por ello, se suele considerar como más económico bombear el agua residual, incluidas las arenas, hasta los desarenadores situados en un lugar conveniente en relación a la posición de las restantes unidades de la planta, a sabiendas de la mayor labor de mantenimiento que hay que realizar en las bombas.

Existen tres tipos generales de desarenadores: de flujo horizontal, de diseño rectangular o cuadrado; aireados, y de vórtice.

En el primero de ellos, el agua circula a través del elemento en dirección horizontal y la velocidad de circulación se controla por la propia geometría de la unidad, con compuertas de distribución especiales, y mediante la adopción de vertederos de secciones especiales a la salida del canal. La extracción de las arenas se suele llevar a cabo mediante un mecanismo transportador dotado de rasquetas o cangilones. La elevación de las arenas para su posterior lavado y eliminación se realiza mediante tornillos o elevadores de cangilones. En ocasiones, en plantas de pequeño tamaño, el lavado de las arenas se realiza manualmente.

El desarenador aireado consiste en un tanque de aireación de flujo helicoidal en el que se induce una velocidad en espiral que se controla por la propia geometría del tanque y por la cantidad de aire suministrada a la unidad. Para la extracción de arenas, los desarenadores aireados se suelen proveer de cucharas bivalvas que se desplazan sobre un monorraíl centrado sobre el canal de almacenamiento y recogida de arena (Figura 2-8). Otras instalaciones están equipadas con transportadores de cadena de cangilones, que se deslizan a lo largo de los canales de recogida empujando la arena hasta un extremo de los mismos y la elevan por encima del nivel del agua de forma continua.

El desarenador de vórtice consiste en un tanque cilíndrico en el que el agua entra siguiendo una dirección de flujo tangencial creando un flujo en vórtice; las fuerzas centrífugas y gravitatorias son responsables de la separación de las arenas.

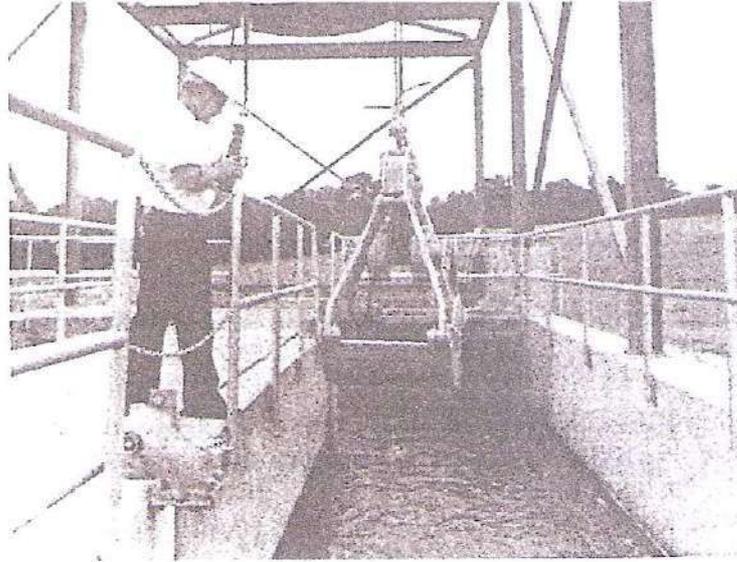


Figura 2-8. Cuchara bivalva empleada para retirar arena de un desarenador

2.7.5. Otras operaciones de pretratamiento

Existen otras instalaciones de pretratamiento que se utilizan para mejorar la tratabilidad del agua residual y para la eliminación de grasas y espumas antes de la decantación primaria. Para ello se utilizan la preaireación y la floculación.

Los objetivos que se pretenden conseguir con la aireación del agua residual antes de la decantación primaria son:

- Mejorar la tratabilidad del agua
- Procurar la separación de las grasas, control de olores, separación de arenas y floculación
- Conseguir una distribución uniforme de sólidos suspendidos y flotantes en su entrada a las unidades de tratamiento
- Aumentar las eliminaciones de la DBO.

El propósito de la floculación del agua residual es formar agregados o flóculos a partir de la materia finamente dividida. A pesar de que, normalmente, no se suele incluir en las instalaciones típicas de tratamiento, vale la pena tener en cuenta el uso de la floculación del agua residual por agitación mecánica o con aire cuando los objetivos sean:

- Aumentar la eliminación de los sólidos en suspensión y de la DBO en las instalaciones de decantación primaria
- Acondicionar el agua residual que contenga vertidos industriales
- Mejorar la eficiencia de los decantadores secundarios especialmente cuando se trata del proceso de fangos activados.

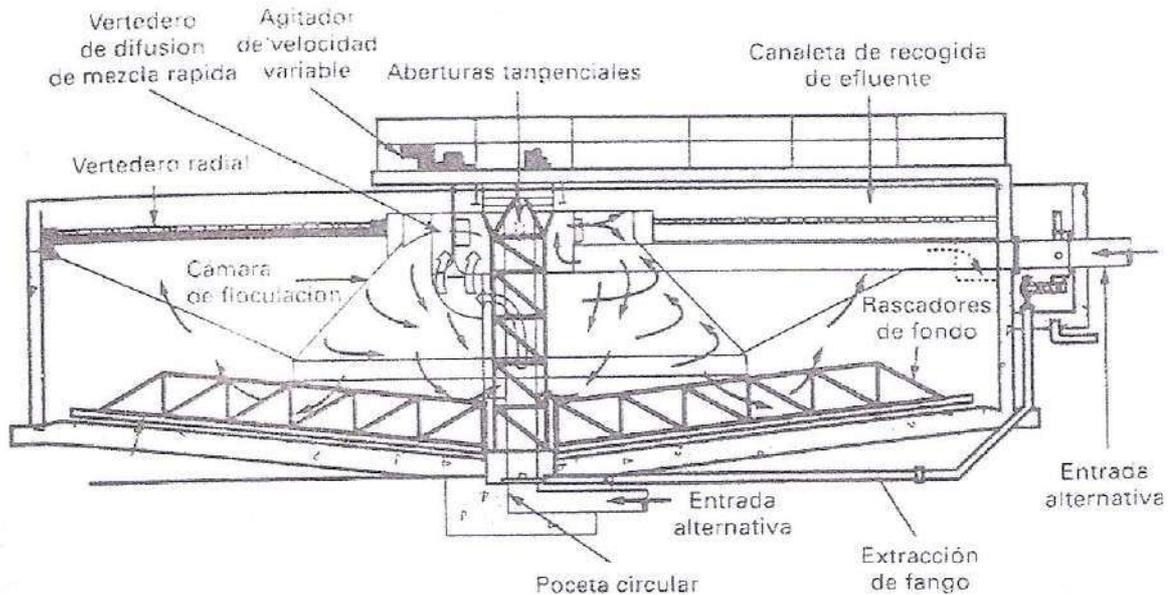


Figura 2-9. Clarificador-floculador típico empleado en el tratamiento del agua residual

La floculación se puede llevar a cabo: en tanques independientes o tanques especialmente proyectados para tal fin; en instalaciones en línea tales como los conductos y tuberías que conectan entre sí las unidades de tratamiento, y en tanques que combinan en una sola unidad las operaciones de floculación y la decantación (véase Figura 2-9). [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 9]

2.7.6. Tanque de decantación primaria

La finalidad del tratamiento por sedimentación es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y del material flotante y, por lo tanto, reducir el contenido de sólidos en suspensión del agua.

Los tanques de sedimentación primaria pueden proporcionar el principal grado de tratamiento del agua residual, o se pueden emplear como paso previo al tratamiento posterior. Cuando se utilizan como único medio de tratamiento, estos tanques sirven para la eliminación de:

- Sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de fango en las aguas receptoras
- Aceite libre, grasas, y otras materias flotantes
- Parte de la carga orgánica vertida a las aguas receptoras.

Cuando los tanques de sedimentación primaria se emplean como paso previo de tratamientos biológicos, su función es la reducción de la carga afluente a las unidades de tratamiento biológico. Los tanques de sedimentación primaria bien dimensionados y explotados con eficiencia eliminan entre el 50 y el 70% de los sólidos suspendidos y entre el 25 y el 40% de la DBO₅.

Actualmente, casi la totalidad de las plantas de tratamiento, independientemente del tamaño excepto las que incorporan tanques Imhoff, utilizan tanques de decantación de diseño normalizado, rectangulares o circulares, con dispositivos mecánicos de recogida de fangos. La elección del tipo de tanque para una determinada aplicación depende del tamaño de la instalación, de las disposiciones y reglamentos de los organismos locales de control, de las condiciones locales del terreno, de la experiencia y juicio del proyectista, y de la estimación de los costes. Se debe disponer dos o más tanques con objeto de que el proceso no se interrumpa mientras uno de ellos esté fuera de servicio por razones de reparación o de mantenimiento. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 9]

2.7.6.1. Tanques rectangulares

Los tanques de sedimentación rectangulares pueden incorporar sistemas de rascado de fangos con rascadores accionados por cadenas o con puentes de traslación. En la Figura 2-10 se ilustra un tanque rectangular de cadenas con rascadores. Sujetos a las cadenas, a intervalos regulares de aproximadamente 3 m, se colocan tablonces de madera o de fibra de vidrio, que se extienden por toda la anchura del tanque (véase Figura 2-11). En el caso de plantas pequeñas, los sólidos que sedimentan en el tanque se arrastran a unos cuencos de recogida del fango, mientras que en las plantas grandes, se arrastran a unos canales de fondo transversales. Estos canales transversales están equipados con sistemas de recolección (colectores transversales), de cadena y rascadores o de tornillo, que conducen el fango a uno o más cuencos de fango.

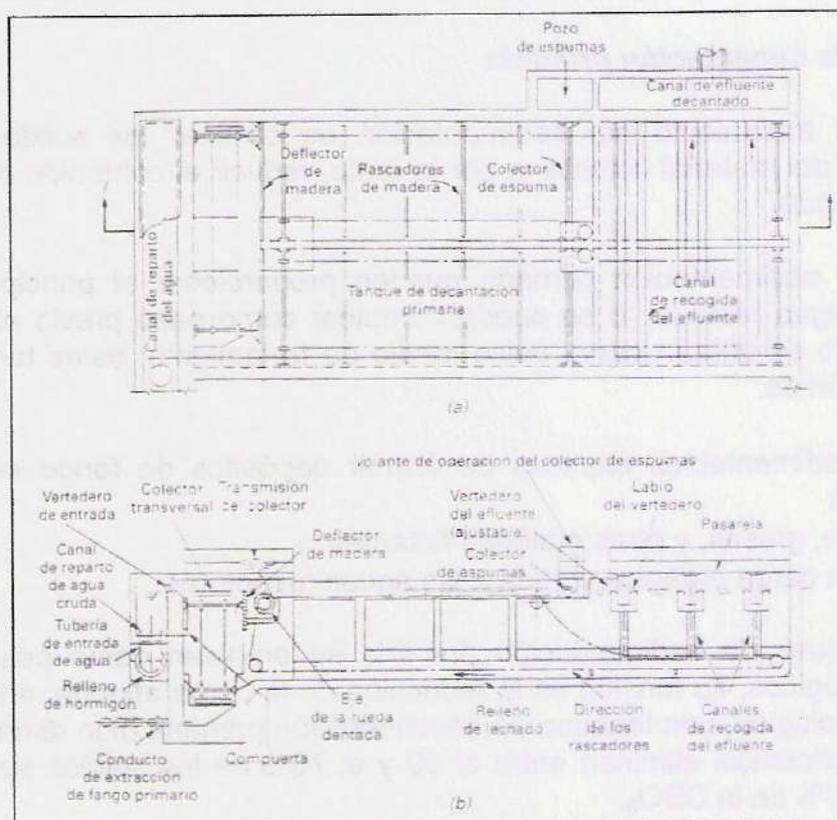


Figura 2-10. Tanque rectangular de decantación primaria



Figura 2-11. Tanque de decantación rectangular vacío en el que se aprecian los rascadores del fango.

En los tanques rectangulares, la extracción del fango también se puede llevar a cabo empleando mecanismos tipo puente de traslación que se desplazan longitudinalmente, alternando el sentido del movimiento, mediante ruedas de goma o sobre raíles dispuestos en los muros laterales (véase Figura 2-12), y de los que cuelgan una o más rasquetas de fango.

Las espumas se suelen recoger en el extremo de salida de los tanques rectangulares por medio de los rascadores que hacen su camino de retorno por la superficie del líquido. La espuma también se puede arrastrar mediante el rociado con agua a presión, y la extracción de la espuma se puede realizar arrastrándola manualmente hasta una rampa inclinada o por medio de dispositivos mecánicos o hidráulicos, de los que existen diversos sistemas en el mercado. La espuma también se puede recoger con rasquetas superficiales en los tanques rectangulares dotados con equipos de puente de traslación. En las instalaciones en las que se recoge una apreciable cantidad de espuma, las cámaras de recogida de espumas suelen estar equipadas con equipos de mezclado que generen una mezcla homogénea antes del bombeo. Las espumas se suelen eliminar junto con los fangos producidos en la planta; no obstante, en muchas plantas, las espumas se eliminan por separado.

Los tanques rectangulares múltiples exigen menos espacio que los circulares, razón por la cual se emplean en zonas en las que la disponibilidad de terreno constituye una traba. Los tanques rectangulares se prestan a ser construidos adyacentes a los tanques de preaireación y de aireación en las plantas de fangos activados, permitiendo el aprovechamiento de paredes comunes y reduciendo los costes de construcción.

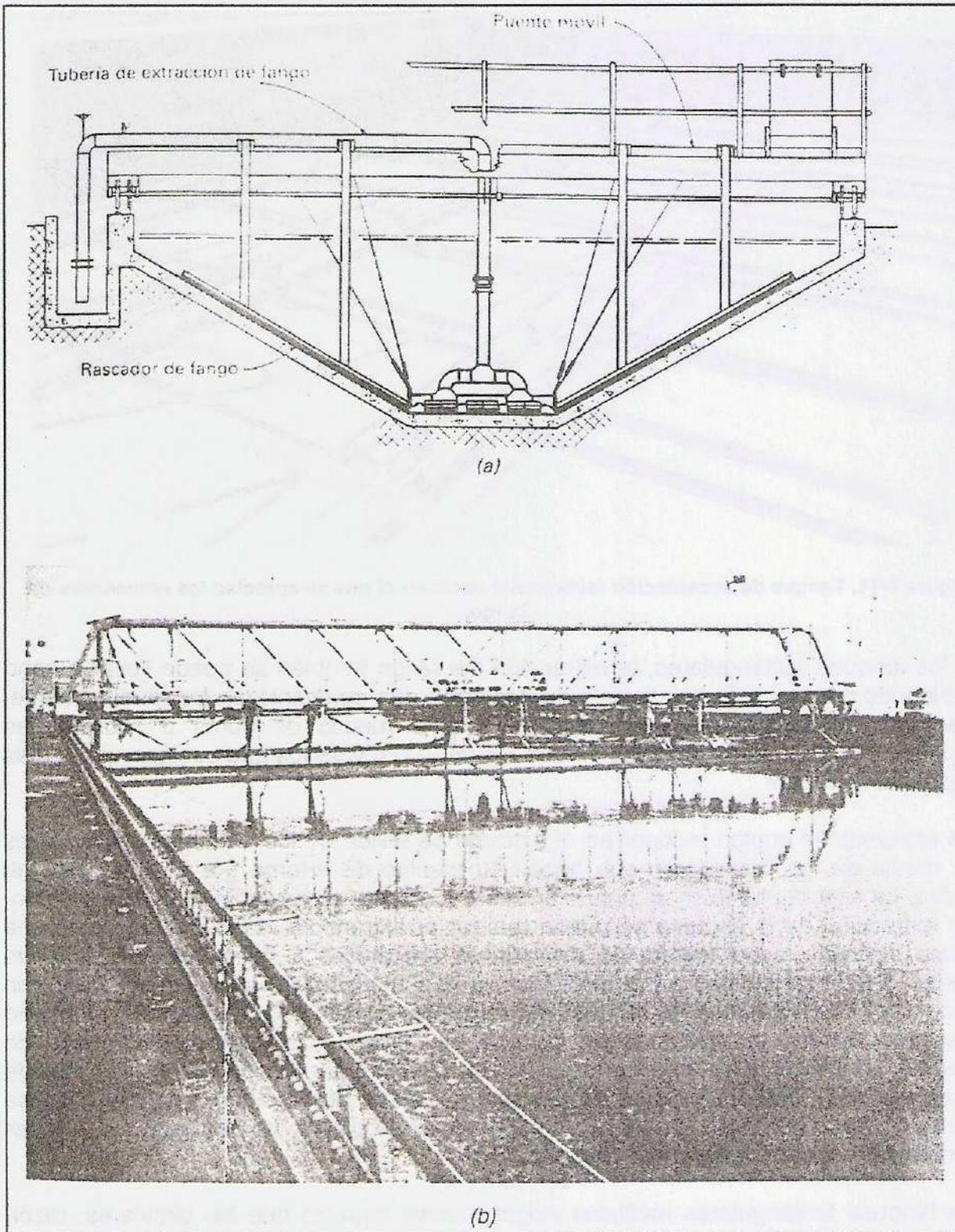


Figura 2-12. Tanque de decantación con mecanismo de arrastre del fango por puente móvil: (a) Tanque de sedimentación de paredes inclinadas, y (b) Decantador rectangular convencional.

2.7.6.2. Tanques circulares

En los tanques circulares, el sistema de flujo es radial. Para conseguir este sistema de flujo radial, el agua residual a decantar se introduce por el centro o bien por la periferia del tanque, tal como muestra la Figura 2-13 a y b.

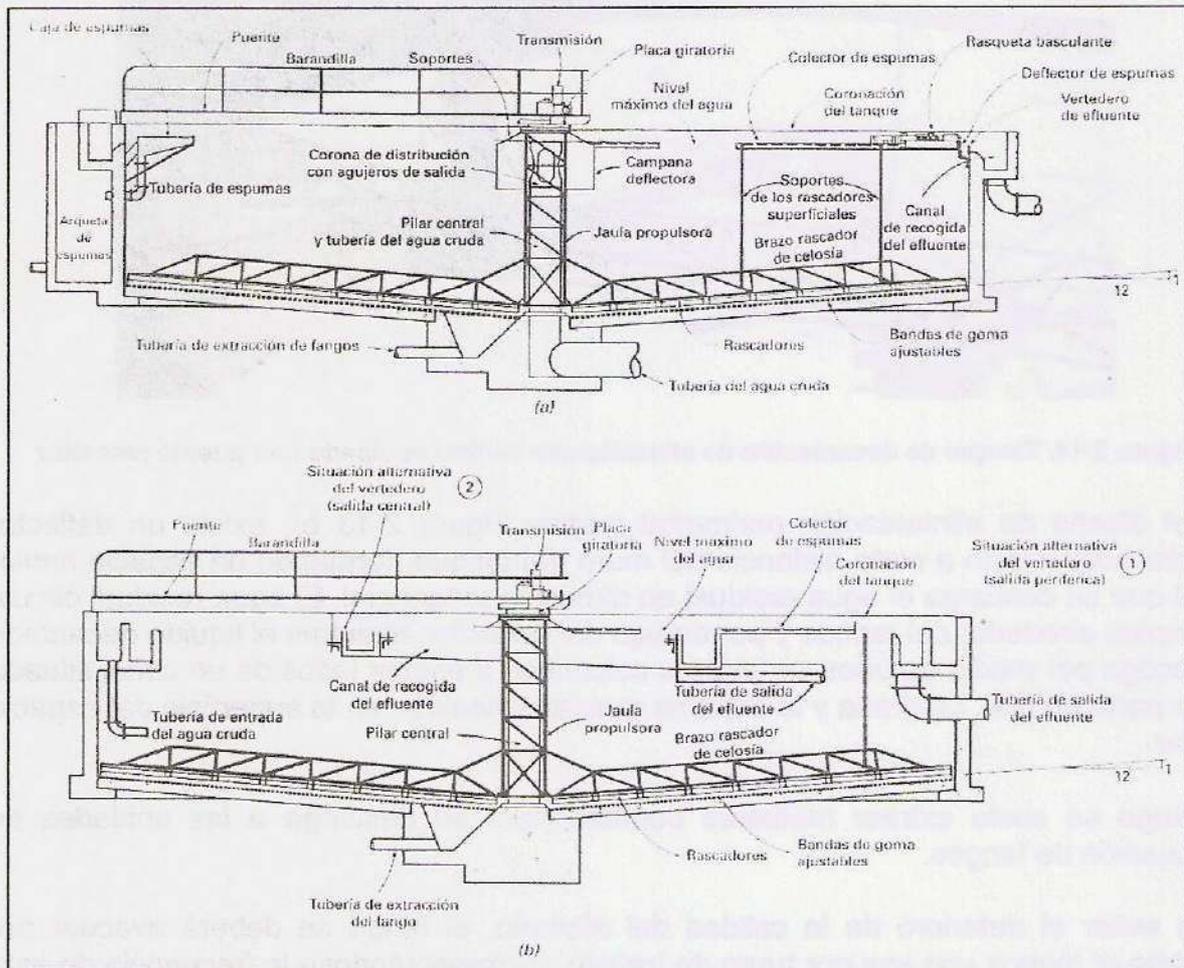


Figura 2-13. Tanque circular de decantación primaria: (a) de alimentación central, y (b) de alimentación periférica

En el diseño de alimentación central (véase Figura 2-13 a), el agua residual se transporta hacia el centro del tanque mediante una tubería suspendida del puente o embebida en hormigón por debajo de la solera. En la zona central, el agua residual pasa por una campana circular diseñada para distribuir el flujo uniformemente en todas direcciones. El puente rascador gira lentamente y puede tener dos o cuatro brazos equipados con rascadores de fondo. Los puentes también incluyen unos rascadores superficiales para la eliminación de espumas. En la Figura 2-14 se muestra un decantador de alimentación central típico equipado con un mecanismo de rascadores para la recogida de los fangos.

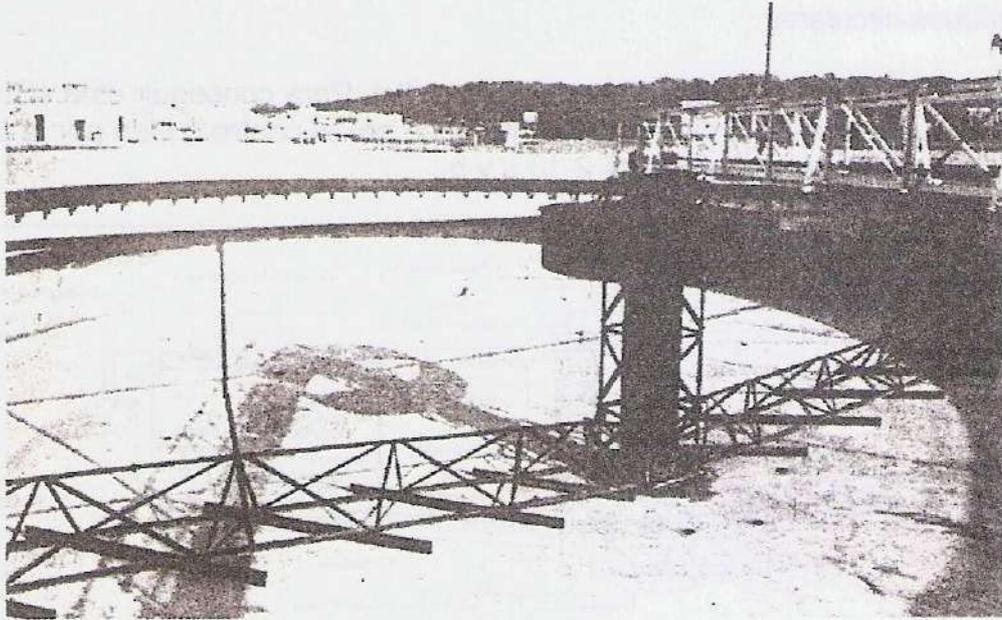


Figura 2-14. Tanque de decantación de alimentación central equipado con puente rascador

En el diseño de alimentación perimetral (véase Figura 2-13 b), existe un deflector circular suspendido a corta distancia del muro del tanque, formando un espacio anular en el que se descarga el agua residual en dirección tangencial. El agua residual circula en espiral alrededor del tanque y por debajo del deflector, mientras el líquido decantado se recoge por medio de unos vertederos colocados a ambos lados de un canal situado en la parte central. La grasa y la espuma quedan retenidas en la superficie del espacio anular.

El fango se suele extraer mediante bombeo para su descarga a las unidades de evacuación de fangos.

Para evitar el deterioro de la calidad del efluente, el fango se deberá evacuar por bombeo al menos una vez por turno de trabajo, incrementándose la frecuencia de esta operación en las épocas de tiempo cálido. En plantas de grandes dimensiones, el bombeo del fango puede ser continuo o intermitente.

2.8. Proyecto de instalaciones para el tratamiento biológico del agua residual.

En muchos casos, los procesos biológicos, también conocidos como procesos secundarios, se emplean en combinación con las operaciones y procesos unitarios que se emplean en los procesos físicos.

La decantación primaria es muy efectiva en la eliminación de sólidos sedimentables, mientras que los procesos biológicos son más efectivos en la eliminación de compuestos orgánicos solubles o del tamaño de las partículas coloidales. No obstante, algunos procesos como las lagunas aireadas, lagunas de estabilización y sistemas de aireación prolongada, se proyectan para que funcionen sin decantación primaria. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 10]



Los procesos biológicos de aplicación más comunes son:

- Fangos activados.
- Lagunas aireadas.
- Filtros percoladores.
- Biodiscos.
- Estanques de estabilización.

2.8.1. Procesos de Fangos Activados.

En el tratamiento de las aguas residuales, el proceso de fangos activados, tanto en su forma original como en alguna de sus muchas variantes, ha tenido un uso muy amplio.

En el proceso de fangos activados es necesario tener en cuenta:

- La elección del tipo de reactor.
- Criterios de carga.
- Producción de fango.
- Necesidad y transferencia del oxígeno.
- Necesidad de nutrientes.
- Control de organismos filamentosos.
- Características del efluente.

El proceso de fangos activados es muy flexible y se puede adaptar a casi la totalidad de los problemas de tratamiento biológico de aguas residuales.

El control de proceso de fangos activados es importante para mantener elevados niveles de rendimiento frente a una gran variedad de condiciones de funcionamiento.

Los principales factores que intervienen en el control del proceso son:

- Mantenimiento de los niveles de oxígeno disuelto en el tanque de aireación.
- Regulación de la cantidad de fango activado recirculado.
- Control de purgas de fangos activados.
- Tasa de utilización de oxígeno.

[Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 10]

2.8.2. Selección y diseño de las instalaciones físicas para el proceso de fangos activados.

Se estudian aquí las instalaciones físicas empleadas en el diseño de sistemas de tratamientos de fangos activados. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 10]



2.8.2.1. Aireación por difusión.

Los dos principales métodos para la aireación del agua residual son: la introducción en el agua residual de aire u oxígeno puro mediante el uso de difusores sumergidos u otros sistemas de aireación, y la agitación mecánica del agua residual para promover la disolución del aire en la atmósfera.

Un sistema de aireación con difusores está formado por unos difusores sumergidos en el agua residual, las conducciones del aire, y los soplantes y demás equipos auxiliares por los que circula el aire.

Los difusores se han clasificado en dos tipologías dependiendo de la forma de introducción del aire en, difusores de burbujas finas y difusores de burbujas gruesas, a partir del hecho de que las burbujas finas resultan mucho más eficaces en la transferencia de oxígeno. Sin embargo, actualmente se prefiere clasificar los sistemas de aireación con difusores en función de las características físicas de los equipos. Así se pueden considerar tres tipologías diferentes, difusores porosos, difusores no porosos y otros sistemas de difusión, tales como difusores de chorro, los aireadores por aspiración y los aireadores de tubo en U.

2.8.2.2. Aireadores mecánicos.

Se suelen clasificar en dos grandes grupos en función de las principales características de diseño y de funcionamiento: los aireadores de eje vertical, y aireadores de eje horizontal.

Ambos grupos se subdividen en aireadores superficiales y sumergidos; en los aireadores superficiales, el oxígeno se obtiene de la atmósfera, mientras que en los sumergidos el oxígeno se obtiene de la atmósfera o de aire u oxígeno puro que se introduce por la parte inferior del tanque. En ambos casos la acción agitadora y de bombeo de los aireadores contribuye a mantener mezclados el contenido del tanque de aireación.

2.8.2.3. Tanques de aireación.

Los tanques de aireación se suelen construir de hormigón armado y abiertos al aire libre.

Generalmente, la fórmula rectangular permite la construcción adosada de tanques aprovechando paredes comunes.

Si el agua residual va a ser aireada con difusores, la geometría del tanque puede tener una incidencia importante sobre la eficiencia de la transferencia de oxígeno y en el grado de mezcla conseguido. Para los sistemas de aireación mecánica, la distribución más eficiente es disponer un aireador por tanque.



2.8.2.4. *Instalaciones para la separación de sólidos*

La función del decantador en el proceso de fangos activados es separar los sólidos de los fangos activados del líquido mezcla. La separación de los sólidos es el último paso en la producción de un efluente estable, bien clarificado, y con bajo contenido en DBO y sólidos suspendidos y, como tal, representa un punto crítico en la operación de un proceso de tratamiento de fangos activados.

El proyecto de tanques de sedimentación primaria sigue siendo aplicable, la presencia en el líquido mezcla de gran cantidad de sólidos floculentos precisa prestar especial atención al proyecto de los tanques de sedimentación de los procesos de fangos activados.

Los tipos de tanques de sedimentación de fangos activados más comúnmente empleados son los tanques circulares y rectangulares.

2.8.3. *Lagunas Aireadas.*

Una laguna aireada es un depósito en el que el agua residual se trata en la modalidad de flujo continuo sin o con recirculación de sólidos. La principal función de este proceso es la conversión de la materia orgánica. Normalmente se puede aportar oxígeno con aireadores superficiales o con sistemas de difusión de aire.

Dependiendo del tiempo de retención, el efluente de una laguna aireada tiende a contener entre un tercio y la mitad de la DBO₅ del afluente, en forma de tejido celular.

La mayor parte de estos sólidos se debe eliminar por decantación antes de la descarga del efluente (un tanque de sedimentación o un tanque, suelen ser elementos habituales en la mayoría de los sistemas de lagunaje). Si se realiza la recirculación de sólidos a la laguna, el proceso no presenta diferencia alguna con un proceso de fangos activados modificado.

Los factores que hay que tener en cuenta en el diseño de lagunas aireadas son:

- Eliminación de DBO
- Características del efluente
- Demanda de oxígeno
- Efecto de la temperatura
- Demanda energética para el mezclado
- Separación de sólidos.

[Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 10]

2.8.4. *Filtros percoladores.*

Los filtros percoladores se clasifican por las cargas orgánicas o hidráulicas aplicadas. Las categorías en las que se dividen son de carga baja o normal, de carga media, de alta o muy alta carga, y de desbaste. A menudo, se emplean sistemas de filtros de dos etapas en los que se conectan en serie dos filtros percoladores.



Un filtro de baja carga es un dispositivo relativamente sencillo y de gran fiabilidad, que produce una calidad estable del efluente con independencia de la naturaleza cambiante del afluente. Los filtros pueden ser circulares o rectangulares.

En los filtros de carga media y alta, la recirculación del efluente del filtro o del efluente final permite la utilización de cargas orgánicas más elevadas. Los filtros de carga media son similares a los filtros de baja carga, y pueden ser circulares o rectangulares.

Los filtros de alta carga se proyectan para cargas notablemente superiores a las correspondientes a filtros de baja carga. La recirculación del efluente del clarificador del filtro permite conseguir rendimientos de eliminación parecidos a los de los filtros de baja carga y de carga media. Los filtros de alta carga suelen utilizar medios constituidos por piedras o materiales plásticos. Estos filtros suelen ser circulares, y funcionan con caudal continuo.

Los filtros de muy alta carga trabajan a altas cargas hidráulicas y orgánicas. Las principales diferencias entre los filtros de muy alta carga y los filtros de alta carga radican en las mayores cargas hidráulicas y la mayor profundidad. El aumento de la profundidad se hace posible por el empleo de medios más ligeros, de plástico. La mayoría de estos filtros se constituyen en forma de torres.

Los filtros de desbaste son filtros de alta carga que se proyectan para trabajar con cargas orgánicas superiores a $1,6 \text{ Kg/m}^3$, y cargas hidráulicas superiores a $187 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

En el tratamiento de aguas residuales muy concentradas se suele utilizar un sistema de dos filtros en serie con un decantador intermedio para la eliminación de los sólidos generados en el primer filtro. El filtro de la primera etapa y el clarificador reducen la DBO carbonosa, y en la segunda etapa se produce la nitrificación. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 10]

2.8.5. Contactores Biológicos Rotativos (RBCs)

Los contactores biológicos rotativos, comúnmente conocidos como biodiscos con un diseño adecuado, pueden tener mejores rendimientos que otros sistemas de tratamiento de película fija, debido a la menor relación carga orgánica/biomasa, al mayor tiempo de retención de los sólidos en la fase biológica, y al mejor control sobre la formación de cortocircuitos. En el diseño de un sistema de biodiscos, se debe prestar atención a:

- La distribución en etapas de las unidades de biodiscos
- Los criterios de carga
- Las características del efluente
- Los tanques de sedimentación

La organización en etapas de un sistema de biodiscos es una parte integral del diseño del proceso. Por distribución en etapas se entiende la subdivisión del medio soporte del proceso en una serie de celdas independientes. La subdivisión se puede llevar a cabo dentro de un mismo tanque por el empleo de deflectores, o disponiendo diferentes tanques en serie. La distribución en etapas promueve el desarrollo de una serie de



condiciones que favorecen el desarrollo de diferentes organismos y a diferentes niveles.

Los sistemas de biodiscos se pueden diseñar para llevar a cabo tratamientos secundarios o avanzados. Las características del efluente, en lo que se refiere a la DBO son comparables a las de los procesos de fangos activados bien operados.

El diseño de casi todos los elementos de los equipos asociados a los sistemas de biodiscos es diferente para cada fabricante.

Los tanques de sedimentación de los sistemas de biodiscos comparten con los tanques de sedimentación de filtros percoladores las características de que todo el fango producido se evacua a las instalaciones de tratamiento de fangos. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 10]

2.8.6. Procesos combinados de tratamientos aerobios.

Investigaciones recientes han estudiado las posibles combinaciones de los procesos de tratamiento aerobio para intentar conseguir el mejor rendimiento y mayor economía en el tratamiento del agua residual. Mediante la combinación de los procesos de tratamiento aerobios descritos anteriormente, se pueden desarrollar gran número de sistemas de tratamiento.

El uso de sistemas combinados ha aumentado notablemente en los últimos años, potenciado en gran parte por las mejoras en los medios de los filtros percoladores que ya se han comentado. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 10]

2.8.6.1. Procesos de biofiltro activado.

El procesos de biofiltro activado es similar a un filtro percolador de alta carga, con la excepción de que el fango secundario se recircula al filtro percolador. El fango de recirculación se controla con el fin de mantener una elevada concentración de cultivo en suspensión en el interior del filtro. El biofiltro utiliza madera en lugar de otros tipos de medios. Una de las ventajas de este proceso es que se obtiene una notable eliminación de DBO, mayores que otros procesos.

2.8.6.2. Proceso de filtro percolador con contacto de sólidos

El proceso de filtro percolador con contacto de sólidos consiste en un filtro percolador, un tanque de aireación de contacto, y un clarificador final. Las modificaciones de este sistema incluyen un tanque de aireación del fango recirculado y el uso de clarificadores-floculadores. Los filtros percoladores se dimensionan para eliminar la mayor parte de la DBO, normalmente del 60 al 85%.

2.8.6.3. Proceso de filtro de desbaste seguido de fangos activados

La configuración del proceso de filtro de desbaste y fangos activados es idéntica a la del sistema del punto 1.5.6.2. Este sistema, sin embargo, trabaja con cargas orgánicas totales más elevadas. El filtro percolador se emplea para eliminar parte de la DBO y



para dotar el proceso de mayor estabilidad, especialmente en los casos en los que se producen cargas de choque. Los tanques de aireación son necesarios para tratar la carga orgánica no eliminada en el filtro percolador.

2.8.6.4. Proceso de biofiltro seguido del proceso de fangos activados

El proceso de biofiltro y fangos activados es similar al proceso de biofiltro activado, con la excepción de que se incorpora un tanque de aireación a continuación del filtro percolador. El fango activado se recircula a través del filtro percolador.

2.8.6.5. Proceso de filtro percolador en serie con un proceso de fangos activados

El proceso formado por un filtro percolador situado aguas arriba de un proceso de fangos activados, es un proceso a menudo empleado para mejorar el nivel de tratamiento de un proceso de fangos activados ya existente. Una configuración alternativa correspondería al caso de la incorporación de un proceso de fangos activados a continuación de un filtro percolador ya existente. En algunos sistemas, especialmente en aquellos en los que se tratan aguas residuales muy concentradas, se instalan decantadores entre las unidades del proceso de fangos activados y el filtro percolador.

2.8.7. Estanques de estabilización.

Un estanque (o laguna) de estabilización es una masa de agua relativamente poco profunda contenida en un tanque excavado en el terreno. El término "estanque de oxidación", de uso común, es sinónimo. Los estanques de estabilización son de uso muy frecuente en pequeñas comunidades, debido a que sus reducidos costes de construcción y explotación representan una importante ventaja frente a los restantes métodos de tratamiento.

Los estanques de estabilización se suelen clasificar en función de la naturaleza de la actividad biológica que tiene lugar; aerobia, anaerobia, o aerobia-anaerobia. También se han seguido otros esquemas de clasificación, en función del tipo de afluente (agua residual bruta, tamizada, decantada o si se trata de un efluente de un proceso de fangos activados), en función de las condiciones de salida del efluente del tanque (inexistente, intermitente o continua), y del método de oxigenación (fotosíntesis, reaireación superficial atmosférica, o aireadores mecánicos).

La principal aplicación de los estanques de estabilización es el tratamiento de residuos orgánicos solubles y efluentes de plantas de tratamiento. Los estanques anerobios-aerobios son los más frecuentes, y se emplean para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Los estanques anaerobios son especialmente eficaces en la rápida estabilización de residuos con grandes concentraciones de materia orgánica. Normalmente, los estanques anaerobios se conectan en serie con estanques aerobios-anaerobios para conseguir un tratamiento completo. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 10]



2.8.7.1. *Análisis y diseño de los procesos.*

En lo que sigue se comentan algunos métodos propuestos para el diseño de estanques de estabilización, incluyéndose la problemática de la acumulación del fango.

En estanques aerobios, el proceso de diseño se suele basar en las cargas orgánicas y los tiempos de detención hidráulica. Los sistemas de grandes dimensiones se suelen diseñar como reactores de mezcla completa, utilizando dos o tres reactores conectados en serie.

El proceso de diseño de estanques facultativos es muy similar al método utilizado para el diseño de los aerobios. Un factor que se debe tener en cuenta es la acumulación de fango, que resulta importante para las reservas de oxígeno y para el funcionamiento global del estanque. En los casos en los que se prevé que la acumulación de fango vaya a ser un problema, se recomienda utilizar aireadores superficiales.

Otro problema provocado por la acumulación de fango es la reducción del rendimiento del estanque, medido en términos de sólidos suspendidos presentes en el efluente.

Debido a que con la excepción del mezclado, los estanques anaerobios son similares a los digestores anaerobios, conviene repasar los métodos de diseño que se describen en capítulos siguientes.

Los estanques de estabilización se pueden conectar en serie o en paralelo para conseguir objetivos de tratamiento específicos. La conexión en serie porta ventajas en los casos en los que es preciso un alto nivel de eliminación de DBO o de coliformes. El efluente de estanques facultativos conectados en serie presenta una concentración de algas mucho menor que los sistemas conectados en paralelo, con el consiguiente descenso en el color y en la turbiedad. Las unidades en paralelo permiten una mejor distribución de los 'sólidos sedimentados. Las unidades de menor tamaño permiten una mejor circulación y están menos sujetas a la acción del oleaje. El coste adicional de proyectar las unidades para que puedan funcionar tanto en serie como en paralelo suele ser mínimo. En algunas circunstancias, puede representar un ahorro debido al menor volumen de movimiento de tierras necesario para adaptar a la topografía las unidades de pequeñas dimensiones.

Por otro lado, la recirculación del efluente de los estanques ha resultado una medida efectiva en la mejora de los rendimientos de los sistemas de estanques conectados en serie. Si se conectan en serie tres estanques facultativos, el modo normal de operación contempla la recirculación al primer estanque del efluente del segundo o del tercero. Si se sustituye el primer estanque facultativo por uno anaerobio, el modo de explotación es el mismo.

2.8.7.2. *Proyecto de las instalaciones físicas asociadas a los estanques de estabilización*

A pesar de que el proceso de diseño de los estanques de estabilización es poco preciso, para asegurar el rendimiento óptimo de las instalaciones es necesario prestar



especial atención al proyecto de las unidades físicas, Los factores que se deben tener en cuenta incluyen:

- Proyecto de las estructuras de entrada y de salida
- Conductos de interconexión
- Construcción de los diques
- Profundidad del líquido
- Construcción del fondo d
- Control de la escorrentía superficial.

2.9. Diseño de instalaciones para el tratamiento y vertido del fango

Los constituyentes del agua residual eliminados en las plantas de tratamiento incluyen basuras, arena, espumas y fango. El fango producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales suele ser un líquido o líquido semisólido con un contenido en sólidos, dependiendo de las operaciones y procesos de tratamiento. De los constituyentes eliminados en el tratamiento, el fango es, con diferencia, el de mayor volumen y su tratamiento y evacuación es, quizás, el problema más complejo de dar solución. Los problemas derivados del manejo de los fangos son complejos debido a que el fango está formado, principalmente, por las sustancias responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas; la fracción del fango a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta principalmente por la materia orgánica presente en aquella, aunque en forma diferente a la original, que también está sujeta a procesos de descomposición que la pueden hacer indeseable, y sólo una pequeña parte del fango está compuesta por materia sólida. Aquí se describen las operaciones y procesos que se utilizan para reducir el contenido en agua y materia orgánica del fango, y se utilizan para acondicionar el fango para su reutilización o evacuación final.

El espesamiento (concentración), acondicionamiento, deshidratación y secado del fango, se utilizan para eliminar la humedad del mismo; la digestión, compostaje, incineración, oxidación con aire húmedo, y los reactores de tubo vertical, se utilizan principalmente para tratar o estabilizar la materia orgánica contenida en el fango. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]

2.9.1. Procedencia, cantidad y características del fango.

Para proyectar convenientemente las instalaciones para el tratamiento y evacuación del fango, es necesario conocer la procedencia; cantidad y características de los sólidos y del fango a tratar.

La procedencia de los sólidos producidos en las plantas de tratamiento varía en función del tipo de planta y del modo de explotación. Los procesos que se emplean para el espesado, digestión, acondicionamiento y deshidratación del fango generado en los tanques de sedimentación primarios y secundarios, también constituyen fuentes generadoras de fango.



Es importante conocer las características de los sólidos y del fango que se va a procesar. Las características varían en función del origen de los sólidos y del fango, de la edad del fango, y del tipo de procesos a que han sido sometidos.

Muchos de los constituyentes químicos; incluidos los nutrientes, son de gran importancia a la hora de considerar la evacuación final del fango tratado y del líquido extraído del fango durante su tratamiento. Para el control del proceso de digestión anaerobia del fango, es importante llevar a cabo mediciones del pH, de la alcalinidad, y del contenido en ácidos orgánicos. En los casos en los que se considera la utilización de métodos de aplicación al terreno o incineración, es necesario determinar el contenido de metales pesados, pesticidas, e hidrocarburos. El contenido energético (térmico) del fango es importante en aquellos casos en los que se considere el uso de procesos de reducción térmica tales como la incineración.

Las características del fango que afectan a su aptitud para la aplicación al terreno y usos beneficiosos incluyen: el contenido en materia orgánica, nutrientes, patógenos, metales y compuestos orgánicos tóxicos. El valor del fango como fertilizante se basa principalmente en su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, y se debería determinar en aquellos casos en los que el fango se vaya a emplear como acondicionador de suelos. En la mayoría de los sistemas de aplicación al terreno, el fango proporciona suficientes nutrientes para el buen crecimiento de las plantas. En algunas aplicaciones, el contenido en fósforo y potasio del fango de aguas residuales puede ser demasiado bajo para satisfacer las demandas específicas de las plantas. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]

2.9.2. Bombeo de fangos y espumas.

El fango producido en las plantas de tratamiento de aguas residuales se debe transportar, de un punto a otro de la planta, en condiciones que pueden variar entre un fango líquido o espuma, hasta un fango espeso. El fango también se puede bombear fuera de la planta, a distancia considerable, para su tratamiento y evacuación. Para cada tipo de fango y aplicación de bombeo, puede ser necesario disponer de un tipo de bomba diferente.

Las bombas que se suelen utilizar más frecuentemente para el transporte del fango incluyen las bombas de émbolo, de cavidad progresiva, centrífugas, de vórtice, de diafragma, de pistón a alta presión, y de émbolos rotativos. También, se han empleado otros tipos de bombas, como las bombas peristálticas (manguera o rotor), o del tipo de las bombas empleadas para el bombeo de hormigón. Las bombas de diafragma y las centrífugas también se han empleado, ampliamente, para el bombeo de espumas. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]

2.9.3. Operaciones de pretratamiento

Para conseguir que la alimentación de fango a las instalaciones de tratamiento del mismo sea relativamente constante y homogénea, es necesario dilacerar, desarenar, mezclar y almacenar el fango. La mezcla y almacenamiento se puede llevar a cabo en una única unidad diseñada para cumplir ambas, funciones, o de forma separada en otros elementos de la planta. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]



2.9.3.1. Dilaceración del fango.

La dilaceración del fango es un proceso en el que los sólidos de gran tamaño contenidos en el fango son cortados o desmenuzados en partículas más pequeñas para evitar obturaciones y la formación de madejas en los equipos rotatorios. Históricamente, los dilaceradores siempre han precisado de mucho mantenimiento, pero los diseños modernos de baja velocidad han resultado ser más fiables y ofrecer una mayor durabilidad.

2.9.3.2. Desarenado del fango

En algunas plantas de tratamiento, en las que no se dispone de desarenadores antes de los decantadores primarios, o en las que las instalaciones de desarenado no son adecuadas para el manejo de los caudales punta y las cargas punta de arena, puede ser necesario desarenar el fango antes de proceder a su tratamiento. En los casos en los que se va a proceder al espesamiento del fango primario, es de buena práctica tener en cuenta la posibilidad del desarenado del mismo. El método más efectivo de eliminar arenas del fango es mediante el uso de desarenadores de ciclón. La eficiencia del desarenador de ciclón depende de la presión y de la concentración de materia orgánica del fango. Para conseguir un desarenado efectivo, el fango debe ser relativamente diluido. Para aumentar la concentración del fango, en los casos en los que se emplean desarenadores de ciclón, el fango desarenado se suele descargar a un espesador.

2.9.3.3. Mezclado del fango

El fango se genera en los procesos de tratamiento primario, secundario y avanzado. El fango primario está formado por sólidos sedimentables existentes en el agua residual bruta. El fango secundario está formado por sólidos biológicos y cantidades adicionales de sólidos sedimentables. El fango generado en los procesos de tratamiento avanzado puede estar formado por sólidos biológicos y sólidos de origen químico. El fango se mezcla para conseguir que la alimentación a los subsiguientes procesos y operaciones de tratamiento sea un material uniforme. La uniformidad de la mezcla adquiere mayor importancia en el caso de sistemas de corto tiempo de detención, como puede ser el caso de la deshidratación del fango, el tratamiento térmico, o la incineración. La alimentación de un fango bien mezclado y con características uniformes favorece, en gran medida, el funcionamiento y rendimiento de las plantas.

El mezclado se puede llevar a cabo de diferentes formas:

- En tanques de decantación primaria. Los fangos secundarios o terciarios se pueden retornar a los decantadores primarios para su sedimentación y mezcla con el fango primario.
- En tuberías. Para asegurar un mezclado adecuado, este procedimiento requiere un cuidadoso control de los puntos de generación del fango y de las velocidades de alimentación. Si no se ejerce este control, son de esperar amplias variaciones en la consistencia del fango.



- En instalaciones de tratamiento de fangos que procuran largos tiempos de detención. Los digestores aerobios y anaerobios (tipo mezcla completa) pueden conseguir una mezcla uniforme de los fangos alimentados.
- En un tanque de mezcla independiente. Esta práctica proporciona el mejor método de control de la calidad de los fangos mezclados.

2.9.3.4. Almacenamiento del fango

El almacenamiento de fango debe realizarse para laminar las fluctuaciones de la producción de fangos y permitir la acumulación de los mismos durante los periodos en los que las instalaciones de tratamiento subsiguientes se hallan fuera de servicio. El almacenamiento del fango es particularmente importante en el caso de los procesos de estabilización con cal, tratamiento térmico, deshidratación mecánica, secado y reducción térmica, para los cuales es importante asegurar que la alimentación se lleve a cabo a caudal constante.

El almacenamiento de fango a corto plazo se puede llevar a cabo en los decantadores o en los espesadores. El almacenamiento a largo plazo se puede conseguir en procesos de estabilización con largos tiempos de detención o en tanques independientes especialmente diseñados. En plantas pequeñas, el fango se suele almacenar en los decantadores y en los digestores. En plantas de grandes dimensiones que no utilizan procesos de digestión aerobia ni anaerobia, el fango se suele almacenar en tanques de mezcla y almacenamiento independientes.

El almacenamiento del fango durante periodos superiores a dos o tres días provoca su deterioro, y aumenta la dificultad del proceso de deshidratación. Para evitar el desarrollo de condiciones sépticas y para mejorar el mezclado, el fango se suele airear. Para asegurar la mezcla completa del fango, puede ser necesario utilizar mezcladores mecánicos. Para evitar el desarrollo de condiciones sépticas, y para controlar los olores generados en los tanques de mezcla y almacenamiento de fango, se ha utilizado cloro y peróxido de hidrógeno, aunque los resultados no han sido plenamente satisfactorios. El control de olores también se puede llevar a cabo elevando el pH por adición de hidróxido de sodio o cal.

2.9.4. *Espesado (concentración)*

El contenido de sólidos del fango primario, activado, fango de filtros percoladores, o del resultado de la mezcla de ellos, varía considerablemente en función de las características del fango, de las instalaciones de eliminación y bombeo de fangos, y del método de operación.

El espesado es un procedimiento que se emplea para aumentar el contenido de sólidos del fango por eliminación de parte de la fracción líquida del mismo. El espesado se suele llevar a cabo mediante procedimientos físicos, que incluyen el espesado por gravedad, flotación, centrifugación, y filtros de banda por gravedad.

La reducción del volumen de fango resulta beneficiosa para los procesos de tratamiento subsiguientes tales como la digestión, deshidratación, secado y combustión, desde los siguientes puntos de vista: capacidad de tanques y equipos



necesarios; cantidad de reactivos químicos necesarios para el acondicionamiento del fango, y cantidad de calor necesario para los digestores y cantidad de combustible auxiliar necesario para el secado o incineración, o para ambos.

En grandes proyectos, en los que el fango se debe transportar distancias importantes tales como el tratamiento en una planta independiente, la reducción del volumen de fango puede comportar la reducción de las dimensiones de las conducciones y de los costes de bombeo. En proyectos pequeños, la necesidad de hacer compatible un tamaño mínimo práctico de la tubería con una velocidad mínima, puede exigir el bombeo de volúmenes importantes de agua residual además del fango, lo cual disminuye el valor de la reducción de volumen conseguida.

El espesado del fango se realiza de alguna forma u otra en todas las plantas de tratamiento en los decantadores primarios, en las instalaciones de tratamiento de fangos, o en unidades independientes especialmente diseñadas.

A la hora de proyectar las instalaciones para el espesado de fangos, es importante dotar a las instalaciones de capacidad suficiente para hacer frente a las demandas punta, y prevenir el desarrollo de condiciones sépticas y los problemas de olores asociados, durante el proceso de espesado. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]

2.9.5. Estabilización.

La estabilización del fango se lleva a cabo para reducir la presencia de patógenos; eliminar los olores desagradables, e inhibir, reducir, o eliminar, su potencial de putrefacción. El éxito en la consecución de estos objetivos está relacionado con los efectos del proceso u operación de estabilización sobre la fracción orgánica o volátil del fango. La supervivencia de los organismos patógenos, la proliferación de olores y la putrefacción, se producen cuando se permite que los microorganismos se desarrollen sobre la fracción orgánica del fango.

Los medios de estabilización disponibles para eliminar el desarrollo de estas condiciones desagradables son: reducción biológica del contenido de materia volátil; oxidación química de la materia volátil; adición de agentes químicos para hacer el fango inadecuado para la supervivencia de los microorganismos, y aplicación de calor con el objeto de desinfectar o esterilizar el fango.

A la hora de proyectar un proceso de estabilización de fangos, es importante considerar la cantidad de fango a tratar, la integración del proceso de estabilización con las restantes unidades de tratamiento, y los objetivos del proceso de estabilización. Los objetivos del proceso de estabilización suelen estar afectados por las normas existentes o de futura implantación. Si el fango se debe aplicar al terreno, es necesario contemplar la reducción de la presencia de patógenos por diferentes vías. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]



2.9.5.1. *Estabilización con cal.*

En el proceso de estabilización con cal, se añade suficiente cal al fango para elevar su pH por encima de 12. Este valor elevado del pH crea un entorno que no favorece la supervivencia de los microorganismos. Como consecuencia de ello, mientras se mantenga este pH, el fango no se pudrirá, no creará olores y no provocará riesgos para la salud pública. Para la estabilización del fango con cal, se emplean dos métodos: adición de cal al fango antes del proceso de deshidratación, práctica conocida con el nombre de «pretratamiento con cal», y adición de cal al fango después del proceso de deshidratación, o “post-tratamiento con cal”. Para la estabilización se puede emplear tanto cal hidratada, como cal viva. En algunos casos, la cal se ha sustituido por cenizas volantes, polvo de hornos de cemento y carburo cálcico.

2.9.5.2. *Tratamiento térmico.*

El tratamiento térmico es un proceso continuo en el que el fango se calienta en un depósito a presión a temperaturas de hasta 260 °C y a presiones de hasta 2.760 KN/m², durante un corto espacio de tiempo. El tratamiento térmico sirve, básicamente, como proceso de estabilización y de acondicionamiento. El acondicionamiento térmico del fango permite que los sólidos sean aptos para la deshidratación sin necesidad de emplear reactivos químicos. Cuando se somete el fango a temperaturas y presiones elevadas, la actividad térmica libera el agua ligada a los sólidos, provocando la coagulación de los mismos. Además, se produce la hidrólisis de la materia proteica, lo cual provoca la destrucción celular y la liberación de compuestos orgánicos solubles y nitrógeno amoniacal.

2.9.6. *Digestión anaerobia del fango.*

La digestión anaerobia del fango se encuentra entre las formas de tratamiento biológico del agua residual más antiguas. Debido al gran interés existente en el ahorro y recuperación de energía, y en el deseo de obtener productos que permitan usos beneficiosos del fango del agua residual, la digestión anaerobia sigue siendo el proceso de estabilización de uso más extendido. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]

2.9.6.1. *Descripción del proceso.*

Aquí se estudia el funcionamiento y las instalaciones físicas necesarias para la digestión anaerobia convencional, de una fase y alta carga, de dos fases, y de digestores independientes.

El proceso de digestión convencional se suele llevar a cabo en una única fase. Las funciones de digestión, espesado de fangos, y formación de sobrenadantes, se llevan a cabo de forma simultánea. En la Figura 2-15 se muestra la sección transversal típica de un digestor convencional.

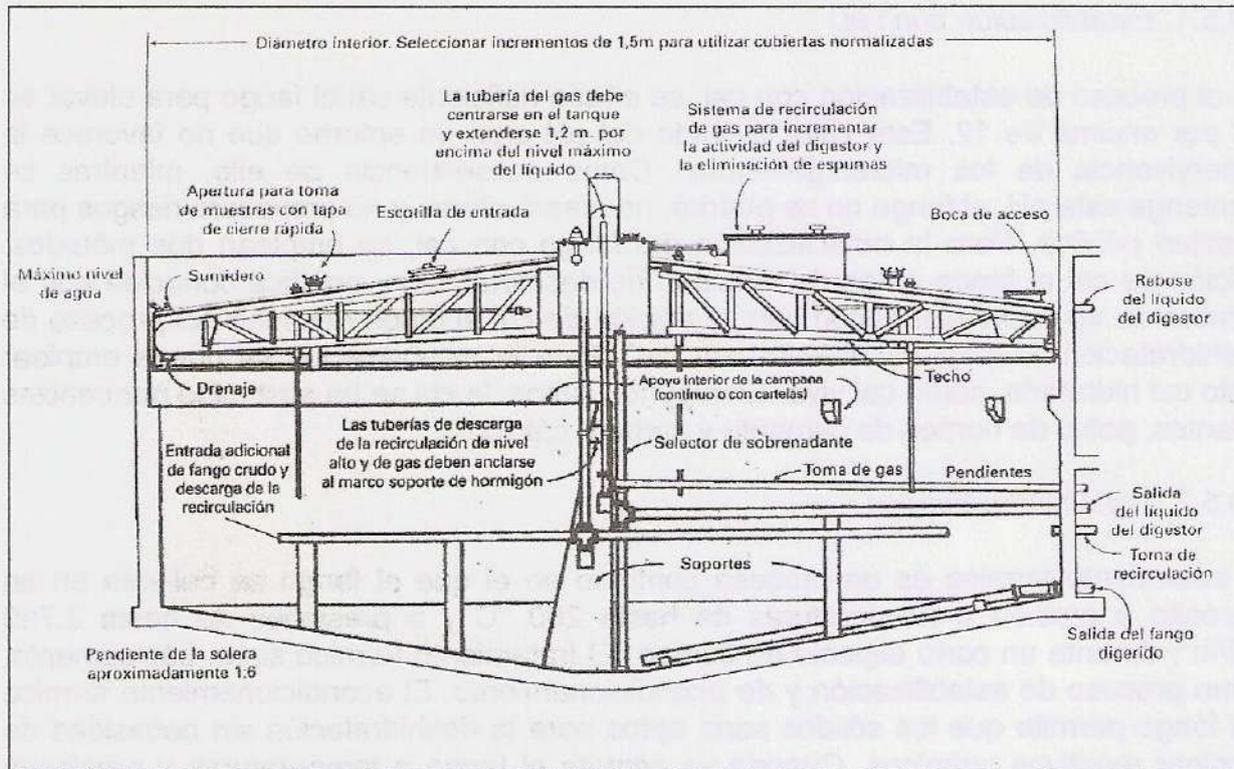


Figura 2-15. Sección transversal de un digester típico convencional.

El proceso de una fase y alta carga difiere del proceso convencional de una fase en que la carga de sólidos es mucho mayor. El fango se mezcla íntimamente mediante recirculación de gas, mezcladores mecánicos, bombeo o mezcladores con tubos de aspiración (no se produce la separación de espumas y sobrenadantes), y se calienta para conseguir optimizar la velocidad de digestión (véase Figura 2-16).

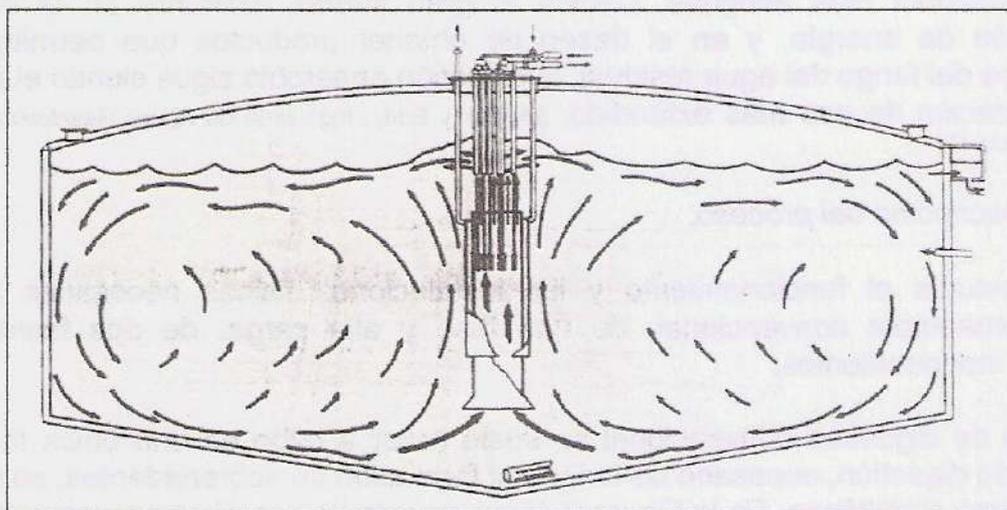


Figura 2-16. Sección de un digester de alta carga con dispositivo de mezclado con gas.

En el caso de digestión de dos fases, un digester de alta carga se combina en serie con un segundo tanque de digestión. En este proceso, el primer tanque se utiliza para la digestión, y se equipa con dispositivos para el mezclado. El segundo tanque se

utiliza para el almacenamiento y concentración del fango digerido, y para la formación de un sobrenadante relativamente clarificado.

Algunos diseños recientes separan la digestión del fango primario de la del fango biológico y, en algunos casos, la digestión de este último no se realiza por vía anaerobia sino en condiciones anaeróbicas. Las razones para adoptar el sistema de digestión independiente son: se mantienen las excelentes características de deshidratación del fango primario digerido; el proceso de digestión se diseña específicamente para el fango a tratar, y se pueden mantener las condiciones óptimas de control del proceso. Sin embargo, los datos de funcionamiento y criterios de diseño disponibles acerca de la digestión anaerobia independiente de los fangos biológicos, son muy limitados.

2.9.6.2. Diseño de los tanques de digestión

Los tanques de digestión anaerobia pueden ser cilíndricos, rectangulares, o con forma de huevo. La tipología más común es en forma de cilindro vertical de poca altura.

El gas generado en los digestores se recoge bajo la cubierta de los mismos. Para ello, se emplean dos tipos de cubiertas: cubiertas flotantes, y cubiertas fijas. Las cubiertas flotantes se ajustan sobre la superficie del contenido del digestor y permiten que varíe su volumen sin que se produzca la entrada de aire (ver Figura 2-17 a). No se puede permitir de modo alguno que se mezclen el gas y el aire, ya que ello podría dar lugar a una mezcla explosiva. Las cubiertas también pueden instalarse de manera que funcionen como receptáculos de gas, almacenando una pequeña cantidad del mismo bajo presión, y actuando como depósito. Este tipo de cubiertas se puede utilizar en digestores de fase única o en la segunda fase de los digestores de dos fases.

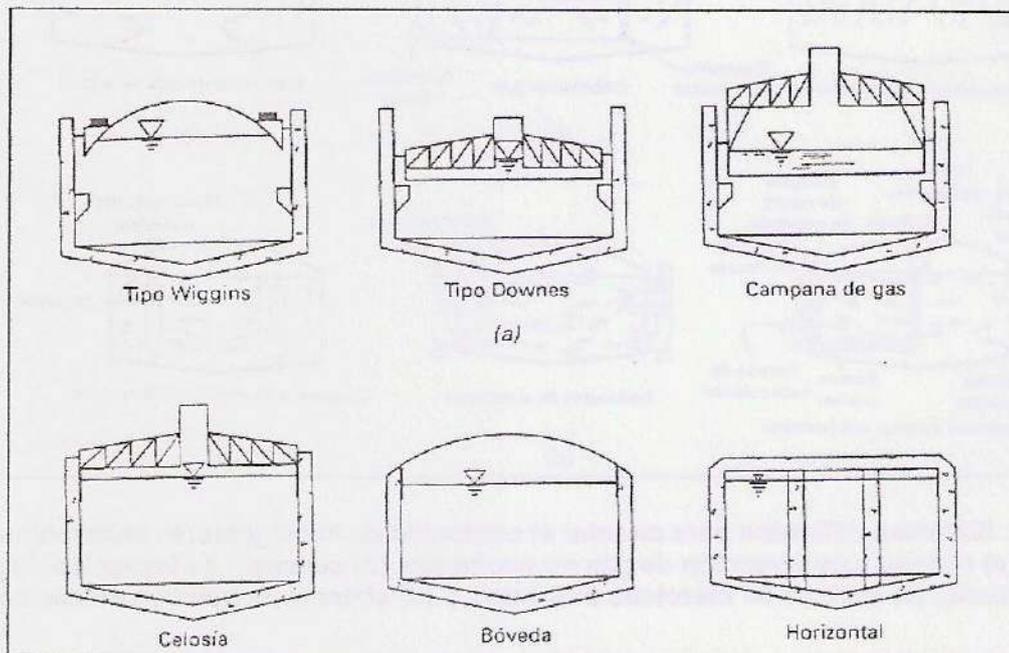


Figura 2-17. Tipos de cubiertas de digestores anaerobios: (a) cubiertas flotantes, y (b) cubiertas fijas.

Las cubiertas fijas proporcionan un espacio libre entre la cubierta del digestor y la superficie del líquido (ver Figura 2-17 b). Es necesario disponer de un sistema de almacenamiento del gas para que cuando varíe el volumen del líquido, entre gas en el digestor y no aire, y no se pierda gas en el desplazamiento.

En plantas de grandes dimensiones, el gas de digestión se puede emplear como combustible para calderas y motores de combustión internos que, a su vez, se utilizan para el bombeo de agua residual, funcionamiento de soplantes, y generación de electricidad.

2.9.6.3. Mezclado del digestor.

Disponer de un mezclado adecuado es uno de los aspectos más relevantes a la hora de conseguir optimizar el rendimiento del proceso. Para el mezclado del contenido del digestor, se han empleado diferentes sistemas (véase Figura 2-18).

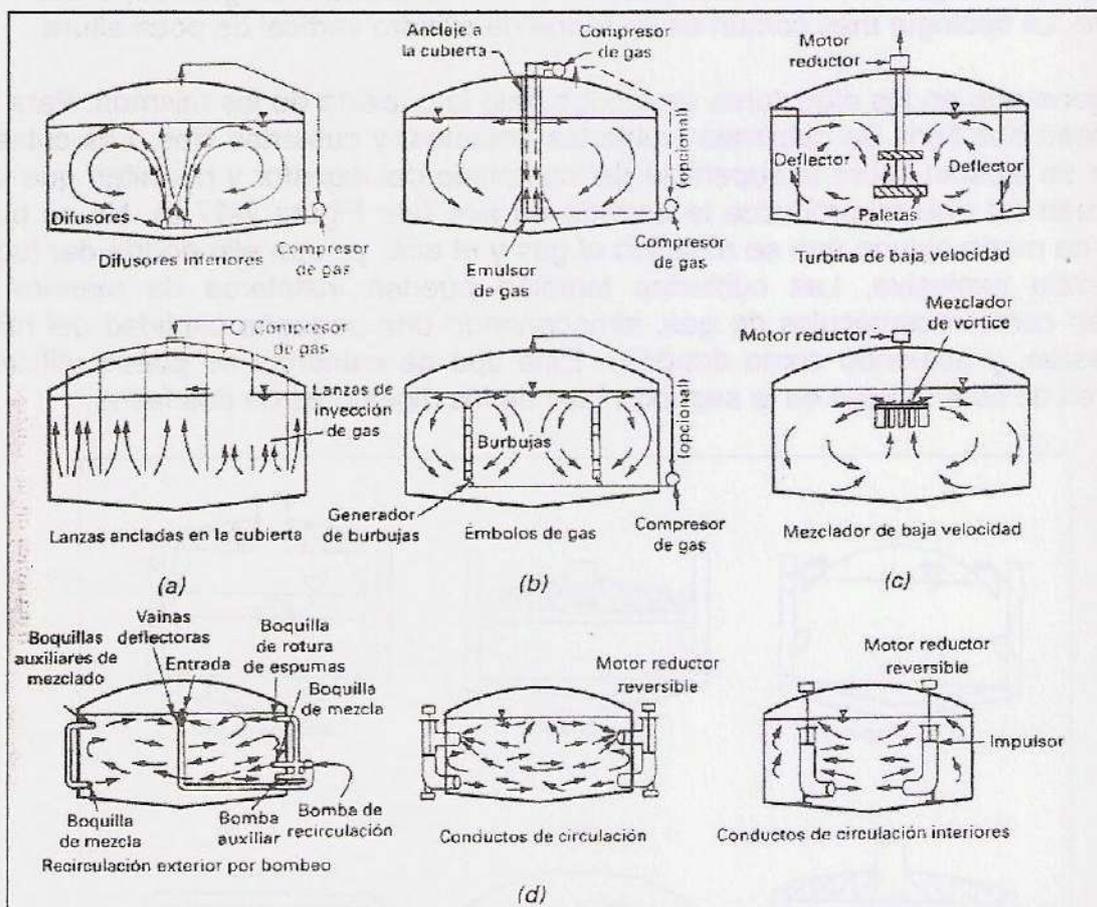


Figura 2-18. Sistemas utilizados para mezclar el contenido de los digestores anaerobios de alta carga: (a) sistemas de inyección de gas no confinado, (b) sistemas de inyección de gas confinado, (c) sistema de mezclado mecánico, y (d) sistema de bombeo mecánico.

Los sistemas de inyección de gas se clasifican en sistemas confinados y sistemas no confinados (Figura 2-18a y Figura 2-18b)



Los sistemas de mezclado mecánico suelen emplear turbinas o agitadores de baja velocidad (véase Figura 2-18c).

La mayoría de los sistemas de bombeo mecánico consisten en bombas de hélice montadas sobre tubos de aspiración dispuestos interna o externamente al digestor, o en bombas centrífugas o de flujo axial dispuestas externamente junto con las conducciones asociadas (véase Figura 2-18d). El mezclado se induce por la circulación del fango.

2.9.7. Digestión aerobia del fango.

La digestión aerobia del fango sólo se puede emplear para el tratamiento de fango activado en exceso; mezclas de fangos activados en exceso o fangos procedentes de filtros percoladores con fangos primarios; fangos en exceso de sistemas de aireación prolongada, o fangos de plantas de tratamiento de fangos activados que no dispongan de decantación primaria. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]

2.9.7.1. Descripción del proceso.

La digestión aerobia es similar al proceso de fangos activados. Conforme se agota el suministro de sustrato disponible (alimento), los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma para obtener la energía necesaria para las reacciones de mantenimiento celular.

En los casos en los que se mezclan fangos activados, o fangos procedentes de filtros percoladores, con fangos primarios para su digestión aerobia, se producirá tanto la oxidación directa de la materia orgánica contenida en el fango primario, como la oxidación endógena del tejido celular. Los digestores aerobios pueden funcionar como reactores de flujo continuo o discontinuo (véase Figura 2-19).

Actualmente, se utilizan dos variantes del proceso suficientemente contrastadas: digestión aerobia convencional, y digestión aerobia con oxígeno puro. Otras dos variantes del proceso, la digestión aerobia termofílica y la digestión criofílica también han sido objeto de investigación, pero actualmente existen muy pocas unidades de estas características en funcionamiento.

2.9.7.2. Digestión aerobia convencional.

Los factores que hay que tener en cuenta en el diseño de digestores aerobios incluyen la temperatura, la reducción de sólidos, el volumen del tanque (tiempo de detención), las necesidades de oxígeno, las necesidades energéticas para el mezclado, y la operación del proceso.

Dado que la mayoría de los tanques de digestión aerobia se encuentran al aire libre y en contacto con la atmósfera, la temperatura del líquido contenido en el digestor dependerá de las condiciones climáticas, lo cual puede provocar que las variaciones sean amplias.

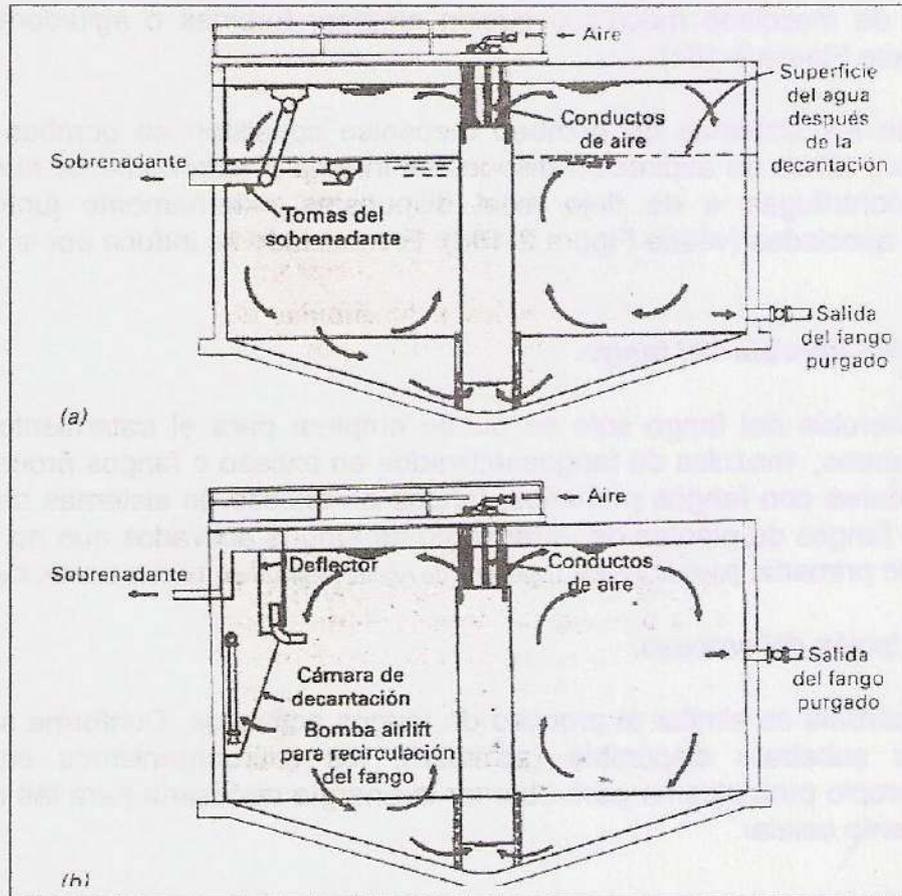


Figura 2-19. Modos de funcionamiento de los digestores aerobios: (a) funcionamiento discontinuo, y (b) funcionamiento continuo.

Uno de los principales objetivos de la digestión aerobia es la reducción de la masa de sólidos que hay que evacuar. Se supone que esta reducción sólo afecta al contenido de sólidos biodegradables del fango, a pesar de que también se puede producir una ligera reducción de la materia inorgánica.

Para asegurar un funcionamiento correcto, es necesario que el contenido del tanque de digestión aerobia esté bien mezclado.

El pH se debe comprobar de forma periódica y, caso de resultar excesivamente bajo, se deben tomar medidas para su ajuste. Para asegurar el rendimiento adecuado del proceso, también se deben comprobar los niveles de oxígeno disuelto y las tasas de respiración.

Los digestores aerobios deben equiparse con dispositivos de toma de sobrenadantes que permitan el espesado de los sólidos digeridos antes de la descarga a las unidades de tratamiento subsiguientes.

2.9.7.3. Digestión aerobia con oxígeno puro.

La digestión aerobia con oxígeno puro es una modificación del proceso de digestión aerobia en la que se utiliza oxígeno puro en lugar de aire. El fango resultante es similar



aguas residuales urbanas se emplea el compostaje aerobio. El compostaje en condiciones aerobias acelera la descomposición de la materia y da lugar a un mayor aumento de la temperatura, suficiente para la destrucción de patógenos, y también minimiza la producción de olores desagradables.

Otros factores que afectan al tipo de sistema de compostaje a emplear son la naturaleza del fango producido, la estabilización (caso de existir) previa al compostaje, y el tipo de sistema de deshidratación y de reactivos químicos empleados.

Durante el proceso de compostaje, se observan tres fases de actividad diferentes con sus intervalos de temperatura asociados: mesofílica, termofílica, y enfriamiento. En la fase mesofílica inicial, la temperatura en la pila de compostaje aumenta desde la temperatura ambiente hasta aproximadamente 40 °C. Luego aumenta la temperatura de la masa compostada hasta alcanzar el intervalo termofílico de temperaturas (40 a 70 °C). Es en esta fase, en el intervalo termofílico de temperaturas, en la que se produce la máxima degradación y estabilización de la materia orgánica. Durante la fase de enfriamiento, se producirá una liberación adicional de agua por evaporación así como una estabilización del pH, y se completará la formación de ácido húmico. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]

2.9.8.1. Descripción del proceso.

La mayoría de las operaciones de compostaje consisten en las siguientes etapas fundamentales: mezcla del fango deshidratado con un material de enmienda o soporte; aireación de la pila de compostaje bien por adición de aire, por volteo mecánico, o mediante ambos sistemas; recuperación del material soporte (caso de que sea posible); maduración adicional y almacenamiento, y evacuación final. El material de enmienda es un material orgánico que se añade al sustrato a compostar con la finalidad de obtener un producto de menor peso y aumentar el volumen de huecos para favorecer la aireación. Los materiales de enmienda también se pueden emplear para aumentar la cantidad de materia orgánica presente en la mezcla. La aireación no sólo es necesaria para aportar oxígeno, sino también para controlar la temperatura de compostaje y eliminar la humedad excesiva.

2.9.8.2. Principales sistemas de compostaje.

Los tres principales sistemas de compostaje utilizados son las pilas estáticas aireadas, las pilas volteadas, y los sistemas mecánicos cerrados (in-vessel).

El sistema de pila estática aireada consiste en una red de tuberías de conducción de aire sobre las que se distribuye una mezcla de fango deshidratado y un material soporte (véase Figura 2-20 a). En un sistema típico de pilas estáticas, el material soporte suele estar constituido por astillas de madera que se mezclan con el fango deshidratado mediante una mezcladora de paletas o de tambor giratorio o mediante equipos móviles tales como una pala excavadora. El material se compostea durante un período de 21 a 28 días, y se madura durante otro período adicional de 30 días o más. Para el suministro de aire es frecuente emplear tuberías de plástico corrugado y, para mejorar el control del sistema de aireación, se recomienda que cada una de las pilas disponga de un sistema de soplantes individual.



al fango de la digestión aerobia convencional. La digestión aerobia con oxígeno puro está especialmente indicada en el caso de climas fríos, debido a su relativa insensibilidad a los cambios de temperatura del aire ambiente gracias al aumento de la actividad biológica y a la naturaleza exotérmica del proceso.

Este proceso se suele llevar a cabo en tanques cerrados similares a los empleados en el proceso de fangos activados con oxígeno puro, aunque una de las variantes del proceso de digestión aerobia con oxígeno puro utiliza tanques abiertos.

2.9.7.4. *Digestión aerobia termofílica.*

La digestión aerobia termofílica, representa un refinamiento tanto de la digestión aerobia convencional como de la digestión aerobia con oxígeno puro. Estudios realizados en plantas piloto de gran tamaño han permitido constatar que la digestión aerobia termofílica se puede emplear para conseguir rendimientos de eliminación de hasta el 70% de la materia orgánica biodegradable con tiempos de detención muy cortos (3 a 4 días). Las principales ventajas del proceso de digestión aerobia termofílica del fango son: la reducción de los tiempos de retención necesarios para obtener una reducción de sólidos suspendidos determinada, y la mayor eliminación de bacterias y virus en comparación con la digestión aerobia mesofílica.

2.9.7.5. *Digestión aerobia criofílica.*

Para proporcionar un mejor control sobre el proceso en plantas prefabricadas de pequeñas dimensiones ubicadas en zonas de clima frío, se ha estudiado el funcionamiento de los sistemas de digestión aerobia de fangos a temperaturas por debajo de 20°C. Se ha comprobado que, para mantener un nivel de reducción de sólidos suspendidos aceptable, es necesario aumentar la edad del fango conforme descienden las temperaturas.

2.9.8. **Compostaje**

El compostaje del fango ha venido recibiendo creciente atención como alternativa económicamente viable y ambientalmente segura para la estabilización y evacuación final del fango de aguas residuales.

El compostaje es un proceso en el que la materia orgánica sufre una degradación biológica hasta alcanzar un producto final estable. El fango compostado adecuadamente es un material tipo humus, higiénico y libre de características desagradables. Aproximadamente el 20% o 30% de los sólidos volátiles se convierten a dióxido de carbono y agua. Conforme se produce la descomposición de la materia orgánica contenida en el fango, el compost se calienta hasta alcanzar temperaturas situadas en el intervalo de pasteurización (50 a 70 °C), lo cual permite la destrucción de organismos patógenos entéricos. Un fango bien compostado se puede emplear como acondicionador de suelos en usos agrícolas y hortícolas, o ser enviado a vertedero, cumpliendo siempre las limitaciones aplicables a los constituyentes del fango.

A pesar de que el compostaje se puede llevar a cabo tanto bajo condiciones aerobias como anaerobias, en casi la totalidad de las aplicaciones de los fangos procedentes de

En el sistema de pilas volteadas, las operaciones de mezclado y cribado son similares a las empleadas en los de pilas estáticas aireadas. Las pilas se mezclan y voltean periódicamente durante el tiempo de compostaje. En algunas aplicaciones se incorpora aireación mecánica adicional (véase Figura 2-20 b). En condiciones de operación normales, las pilas se voltean un mínimo de 5 veces mientras la temperatura se mantiene a, o por encima de, 55 °C. Esta operación suele ir acompañada de la liberación de olores desagradables.

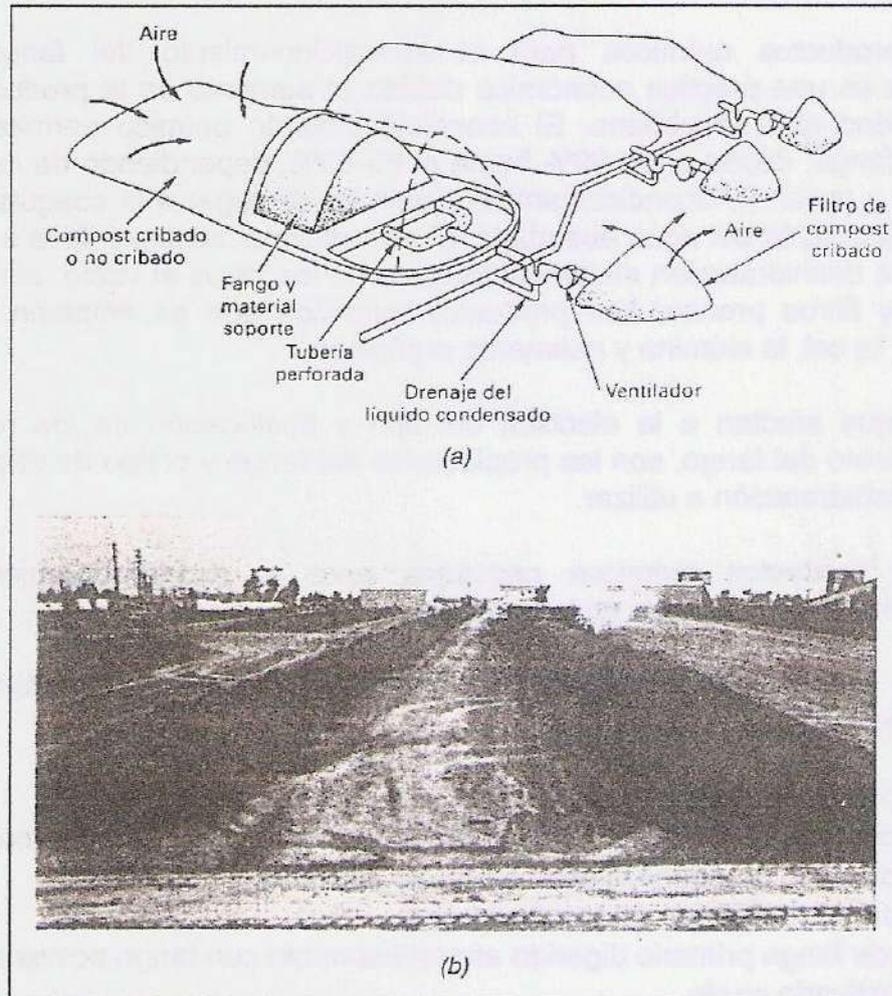


Figura 2-20. Sistemas de compostaje: (a) pilas estáticas aireadas, y (b) pilas volteadas.

El compostaje en sistemas cerrados se realiza en el interior de depósitos o reactores cerrados. Los sistemas mecánicos se diseñan para minimizar la producción de olores y la duración del proceso controlando las condiciones ambientales tales como el caudal de aire, la temperatura y la concentración de oxígeno.

Los sistemas de compostaje cerrados se pueden dividir en dos grandes categorías: de flujo en pistón, y dinámicos (de lecho agitado).

FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
 MONUMENTO NACIONAL
 TELAVAN (CZAD) 45507 / 45508
 ING. PERNASOIT - EDIFICIO - CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
 BUENOS AIRES - REP. ARGENTINA



2.9.9. Acondicionamiento.

El fango se acondiciona expresamente para mejorar sus características de deshidratación. Los dos métodos más comúnmente empleados implican la adición de reactivos químicos y el tratamiento térmico. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]

2.9.9.1. Acondicionamiento químico

El uso de productos químicos para el acondicionamiento del fango para su deshidratación es una práctica económica debido al aumento de la producción y a la mayor flexibilidad que se obtiene. El acondicionamiento químico permite reducir la humedad del fango, desde el 90-99% hasta el 65-85%, dependiendo de la naturaleza de los sólidos a tratar. El acondicionamiento químico da lugar a la coagulación de los sólidos y a la liberación del agua absorbida. El acondicionamiento se lleva a cabo antes de sistemas de deshidratación mecánica tales como los filtros al vacío, centrifugación, filtros banda y filtros prensa. Los productos químicos que se emplean incluyen el cloruro férrico, la cal, la alúmina y polímeros orgánicos.

Los factores que afectan a la elección del tipo y dosificación de los reactivos de acondicionamiento del fango, son las propiedades del fango y el tipo de dispositivos de mezclado y deshidratación a utilizar.

La dosis de productos químicos necesaria para el acondicionamiento de un determinado fango se determina en laboratorio.

Los tipos de fango, ordenados por la demanda creciente de reactivos para el acondicionamiento, son los siguientes:

- Fango primario crudo.
- Fango primario crudo mezclado con fango procedente de filtros percoladores.
- Fango primario crudo mezclado con fango activado.
- Fango primario digerido anaerobiamente.
- Mezcla de fango primario digerido anaerobiamente con fango activado.
- Fango activado crudo.
- Fango de digestión aerobia.

El mezclado íntimo del fango y del coagulante es fundamental para un acondicionamiento correcto. El mezclado no debe romper el flóculo una vez formado éste, y se debe minimizar el tiempo de detención de modo que el fango llegue a la unidad de deshidratación lo más rápidamente posible después de su acondicionamiento.

2.9.9.2. Tratamiento térmico

El tratamiento térmico es un proceso de estabilización y acondicionamiento del fango que comporta el calentamiento del fango bajo presión durante cortos periodos de tiempo. El tratamiento térmico se emplea para la coagulación de sólidos, romper la estructura de gel y destruir la afinidad al agua de los sólidos contenidos en el fango.



Como consecuencia de ello, el fango se esteriliza y deshidrata rápidamente. La mayor aplicación del proceso de tratamiento térmico se centra en fangos biológicos que puedan resultar difíciles de estabilizar o acondicionar por otros medios. Los elevados costes de inversión de los equipos asociados suelen limitar su aplicación a plantas de grandes dimensiones. El sobrenadante obtenido en las unidades de tratamiento térmico presenta un elevado contenido en DBO, y puede precisar de un tratamiento auxiliar antes de su incorporación a la línea principal de tratamiento del agua residual.

El fango parcialmente oxidado en la unidad de tratamiento térmico se puede deshidratar por filtración al vacío, centrifugación, filtros banda, o eras de secado.

2.9.10. Desinfección

La desinfección del fango está adquiriendo gran importancia como proceso adicional debido a las restrictivas normas aplicables a la reutilización del fango y a su aplicación al suelo.

Existen muchos medios para conseguir la eliminación de los patógenos presentes en los fangos líquidos y deshidratados. Los métodos que se indican a continuación, se han empleado para conseguir una reducción de patógenos superior a las conseguidas por medio de los procesos de estabilización:

- Pasteurización.
- Otros procesos térmicos como el acondicionamiento térmico, secado térmico, incineración, pirolisis, o combustión con deficiencia de aire.
- Tratamiento a pH elevado, normalmente con cal, a pHs superiores a 12 durante 3 horas.
- Almacenamiento a largo plazo del fango líquido digerido.
- Compostaje completo a temperaturas superiores a 55°C y maduración por almacenamiento en pilas durante un mínimo de 30 d
- Adición de cloro para la desinfección y estabilización del fango.
- Desinfección con otros productos químicos.
- Desinfección por radiación de alta energía.

Como se ha indicado, algunos procesos de estabilización también proporcionan desinfección. Estos procesos incluyen la estabilización con cal, el tratamiento térmico, la digestión anaerobia termofílica y la digestión aerobia termofílica.

La digestión anaerobia y aerobia (excluyendo la digestión anaerobia termofílica y la digestión aerobia termofílica) no desinfectan el fango, pero permiten reducir notablemente la presencia de organismos patógenos. Los métodos más adecuados para la desinfección de fangos líquidos procedentes de la digestión, tanto aerobia como anaerobia, son la pasteurización y el almacenamiento a largo plazo. El almacenamiento a largo plazo y el compostaje son, probablemente, los métodos más efectivos en la desinfección de fangos digeridos, aerobia y anaerobiamente, y deshidratados. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]



2.9.11. *Deshidratación*

La deshidratación es una operación unitaria física (mecánica) utilizada para reducir el contenido de humedad del fango por alguna o varias de las siguientes razones:

- Los costes de transporte del fango por camión hasta el lugar de su evacuación foral son notablemente menores cuando se reduce el volumen por deshidratación.
- El fango deshidratado es, generalmente, más fácil de manipular que el fango líquido o espesado. En la mayoría de los casos, el fango deshidratado es susceptible de ser manipulado con tractores dotados de cucharas y palas y con cintas transportadoras.
- La deshidratación del fango suele ser necesaria antes de la incineración del fango para aumentar su poder calorífico por eliminación del exceso de humedad.
- La deshidratación es necesaria antes del compostaje para reducir la cantidad de material de enmienda o soporte.
- En algunos casos, puede ser necesario eliminar el exceso de humedad para evitar la generación de olores y que el fango sea putrescible.
- La deshidratación del fango suele ser necesaria antes de su evacuación a vertederos controlados para reducir la producción de lixiviados en la zona del vertedero.

Los dispositivos de deshidratación utilizan varias técnicas para la eliminación de la humedad. Algunas, se basan en la evaporación y percolación naturales, mientras que los aparatos de deshidratación mecánica utilizan medios físicos, asistidos mecánicamente, para acelerar el proceso. Los medios físicos utilizados incluyen la filtración, el prensado, la acción capilar, la extracción por vacío y la separación y compactación por centrifugación.

Algunos fangos, especialmente los fangos digeridos por vía aerobia, no tienen buenas características para su deshidratación mecánica. Estos fangos se pueden deshidratar, con buenos resultados, en eras de secado.

Los procesos de deshidratación disponibles incluyen los filtros de vacío, las centrifugas, los filtros prensa, los filtros banda horizontales, las eras de secado, y el lagunaje. [Metcalfe y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]

2.9.12. *Secado térmico*

El secado del fango es una operación unitaria que involucra la reducción del contenido de agua por la vaporización de ésta al aire. En las eras de secado de fangos convencionales, la evaporación a la atmósfera se produce por la diferencia en las presiones de vapor. En los aparatos de secado mecánico, se aporta calor auxiliar para aumentar la capacidad de retención de vapor del aire ambiente y para proporcionar el calor latente necesario para la evaporación. El objeto del secado térmico es la eliminación de humedad del fango líquido, de forma que se pueda incinerar con eficacia o procesar para su transformación en fertilizante. El secado es necesario en la fabricación de fertilizantes para que sea posible triturar el fango, para reducir su peso, y para prevenir la continuación de la acción biológica.



Para el secado del fango, se pueden emplear cinco procesos mecánicos: sistemas de secado instantáneo; sistemas de secado por pulverización; sistemas de secado rotativos; sistemas de secado de pisos múltiples, y sistemas de evaporación de efecto múltiple. La mayoría de los sistemas se pueden emplear para el secado o para la incineración. Los sistemas de secado de fangos suelen ir precedidos por el proceso de deshidratación. En plantas de tratamiento de aguas residuales, el tipo de sistema más empleado es el de secado instantáneo.

Este sistema supone la pulverización del fango en un molino, o mediante una técnica de suspensión atomizada, en presencia de gases calientes.

Las dos medidas de control más importantes relacionadas con el secado térmico del fango son la eliminación de cenizas y el control de olores. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]

En la actualidad, los Organismos responsables de la depuración de las aguas residuales urbanas, así como los industriales, se ven obligados a plantearse la continuidad de sus líneas de tratamiento de fangos. La garantía de esta continuidad es posible si los fangos son sometidos a tratamientos complementarios que minimicen los problemas asociados habitualmente.

Degremont propone diferentes soluciones como destino final, que son del compostaje a la incineración específica pasando por la co-incineración con residuos sólidos urbanos, incineración en cementeras, la oxidación por vía húmeda, etc. En cualquiera de los casos, el secado térmico de los fangos se puede integrar con grandes ventajas en estas soluciones y constituye una de las alternativas tecnológicas disponibles recientemente para mejorar la gestión del tratamiento de fangos. Entre las diferentes tecnologías de secado térmico existentes en el mercado, Degremont ha seleccionado dos tecnologías: NARATHERM, de secado indirecto y CENTRIDRY, secado directo, para dar respuesta de modo absolutamente fiable a las necesidades que plantea en la actualidad la gestión de los fangos de aguas residuales. [Revista DYNA, publicación Julio-Agosto y Setiembre 2000, secado térmico de fangos de depuradoras de aguas residuales, Miguel Angel Sanz Casas - Director Técnico y de Proyectos Degremont Medio Ambiente, S.A]

2.9.13. Reducción térmica

La reducción térmica del fango incluye la conversión total o parcial de los sólidos orgánicos a productos finales oxidados, principalmente dióxido de carbono y agua, por incineración u oxidación por vía húmeda o la oxidación y volatilización parcial de los sólidos orgánicos por pirólisis o combustión completa para formar productos males que tienen poder calorífico.

Las principales ventajas de la reducción térmica son:

- Máxima reducción de volumen, reduciendo, por lo tanto, las necesidades de evacuación
- Destrucción de patógenos y compuestos tóxicos
- Posible recuperación de energía.



Las desventajas observadas son:

- Elevados costes de inversión y de explotación
- Necesidad de disponer de operarios muy cualificados
- El posible efecto ambiental negativo de los residuos producidos (emisiones de aire y cenizas)
- La evacuación de los residuos, que pueden ser clasificados como residuos peligrosos, puede ser complicada y costosa.

Los procesos de reducción térmica se utilizan con mayor frecuencia en plantas de dimensiones medias o grandes, en las que las opciones de evacuación final sean limitadas.

Los fangos procesados por reducción térmica suelen ser fangos crudos deshidratados. Antes de la incineración no suele ser necesario estabilizar el fango. De hecho, esta práctica puede ser contraproducente, ya que la estabilización, especialmente la digestión aerobia y anaerobia, reduce el contenido volátil del fango y por lo tanto aumenta las necesidades de combustible auxiliar. El uso de tratamiento térmico antes de la incineración constituye una excepción a esta circunstancia. Los fangos tratados térmicamente tienen muy buenas características para la deshidratación, haciendo que el fango sea autocombustible. Los fangos se pueden someter a reducción térmica por sí solos, o en combinación con residuos sólidos urbanos.

El proceso de reducción térmica incluye la incineración en hornos de pisos múltiples, la incineración en lecho fluidificado, la co-incineración, la oxidación por vía húmeda, y la oxidación por vía húmeda en reactores verticales profundos. Antes de proceder al análisis de estos procesos, será útil recordar algunos de los aspectos fundamentales de la reducción térmica. [Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición; Capítulo 12]

2.9.14. El problema de los barros en Europa

La tecnología más común para el tratamiento de aguas residuales municipales, aplicada en Europa es el proceso de los lodos activos, un proceso biológico que consume grandes cantidades de energía y genera grandes cantidades de lodos orgánicos. Estos lodos, separados del agua tratada en la última etapa del proceso, contienen más del 90% de agua y son altamente biodegradables. Hasta ahora, las principales vías de eliminación han sido transportar los lodos a vertederos, esparcirlos en la tierra, verterlos al mar (sobre todo en el Reino Unido) e incinerarlos. Sin embargo, los tiempos cambian y están apareciendo restricciones sobre todas las vías de eliminación de los lodos. Una legislación sobre eliminación de residuos más restrictiva, junto con la preocupación por los posibles riesgos medioambientales y sanitarios que conlleva esparcir los lodos en tierras de cultivo, están haciendo más agudo el problema de la eliminación de los lodos. Simultáneamente, continúan construyéndose instalaciones de tratamiento de aguas residuales con lodos activos, en cumplimiento de la directiva sobre aguas residuales, y, previsiblemente, continuarán funcionando como "fábricas de lodos" a largo plazo, con una producción imparable. Es, por tanto, esencial encontrar modos de eliminación factibles, seguros y sostenibles para los lodos residuales. Las restricciones que se están proponiendo sobre el transporte a vertederos pretenden excluir todo residuo orgánico de esta vía de eliminación.



Potencialmente, la opción más atractiva sería esparcir los lodos en terrenos agrícolas porque podrían reciclar nutrientes y ser útiles desde el punto de vista agronómico. Sin embargo, debido a los procesos físico-químicos que intervienen en el método de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales, el lodo tiende a concentrar trazas de metales pesados y compuestos orgánicos, poco biodegradables (por ejemplo, plaguicidas, productos químicos domésticos, etc.) presentes en las aguas residuales. Ello suscita problemas tanto para el medio ambiente como para la Salud pública. Otro problema sería la existencia de suficiente terreno agrícola en las proximidades de los centros de producción de lodos para evitar gastos de transporte.

Dada esta falta de seguridad total, hay una creciente resistencia de los agricultores a esparcir lodos en sus tierras. Cada vez más "nichos de mercado" (por ejemplo, alimentos sanos, alimentos para niños, conservas vegetales) exigen expresamente a sus proveedores que prohíban el uso de lodos residuales. Lo que a menudo se pasa por alto es el coste del manejo de las grandes cantidades de lodos producidas por las grandes instalaciones de tratamiento necesarias para tratar enormes volúmenes de aguas residuales, y cómo se pueden manejar los lodos de forma segura, práctica y sostenible. En algunos casos, su tratamiento y eliminación suponen hasta la mitad de los costes globales del tratamiento de aguas residuales.

Se precisa una nueva y seria reconsideración del problema. Hay que alcanzar estándares de calidad para los lodos que se esparcen en la tierra y se han de considerar tratamientos y técnicas de eliminación alternativos para otros tipos de lodos. Ello subraya, una vez más, la necesidad de una buena coordinación entre los distintos sectores de la política europea de medio ambiente.

2.9.15. Conclusión

Dada la creciente producción de lodos en Europa y el simultáneo endurecimiento de la normativa sobre eliminación de residuos, probablemente las opciones preferibles para la eliminación de los lodos, a medio plazo, serán la aplicación a las tierras y la incineración. La elección final se efectuará a nivel local en función de diversos parámetros culturales, económicos y científicos. Hasta ahora, hay un acuerdo general de que el uso en Agricultura puede ser una opción segura y viable.

Ciertamente es una de las vías que se utilizarán más probablemente en el futuro aunque en algunos países como Francia, Alemania, Suecia y Holanda, el temor sobre los efectos en los suelos y las cosechas está poniendo en entredicho a este sistema. Estos países, especialmente Alemania, están desarrollando nuevas tecnologías de incineración de lodos. En otros, como en el Reino Unido, se fomenta la aplicación de los lodos a las tierras de cultivo.

En Suecia, ciertos estudios de evaluación del ciclo de vida, en algunas instalaciones de tratamiento de aguas residuales, han identificado la reutilización de los lodos en Agricultura como la mejor opción en algunos casos. En algunos Estados Miembros, como el Reino Unido, se ha puesto gran énfasis en desarrollar estrictas políticas y prácticas de control, para proteger la seguridad de la opción de aplicación a las tierras de cultivo. Sin embargo, a nivel de la UE, falta un enfoque más coordinado que regule la aplicación de los lodos a las tierras de cultivo.



Hasta ahora, cada Estado Miembro es responsable de desarrollar una estrategia de eliminación de los lodos segura y eficaz.

La situación subraya la necesidad de garantizar la seguridad de la aplicación de lodos a las tierras de cultivo y tranquilizar a quienes ya la realizan o pueden realizarla en el futuro. A este fin, es importante la calidad de los lodos, comenzando en el vertido de las aguas residuales a las cloacas y es necesario exigir un control eficaz de esa calidad.

Podría ser útil, por tanto, estimular el tratamiento de ciertos efluentes industriales, independientemente de las aguas residuales domésticas, en los casos en que no se esté haciendo, o bien pretratarlos antes de verterlos en las cloacas, para eliminar las concentraciones excesivas de elementos indeseables como los metales pesados.

Se precisa más investigación sobre los efectos de los sistemas de aplicación en Agricultura y de incineración en el medio ambiente así como una sólida coordinación científica para dirigir las investigaciones actuales.

Es esencial disponer de información adecuada sobre producción de lodos, tratamiento, sistemas, productos y mercados. Por tanto, ha llegado el momento de definir normas razonables de utilización de los lodos, así como de reutilización de las aguas residuales.

La clasificación de los lodos en tipos de calidad bien definida, adecuados para cada sistema de eliminación o reutilización, debe garantizar el uso y la eliminación seguros. Hay que formular criterios medioambientales sólidos para cada opción, criterios que deben incluir la evaluación de los riesgos. [Revista DYNA, publicación Enero-Febrero 2005, Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: El problema de los lodos, Miguel Vega-Laurent Bontoux-Demóstenes Papameletiou].

2.10. Reúso de agua residual

La aplicación de agua residual al suelo implica el uso de las plantas, de la superficie y de la matriz del suelo para su tratamiento. El reúso de efluentes tratados se ha incrementado en la agricultura ya que tiene como metas promover la agricultura sostenible, preservar las escasas fuentes de agua y mantener la calidad ambiental. [Y. Tselentis y S. Alexopoulou, Water Sci. Techn. (1996)]

2.10.1. Introducción

Si las aguas residuales no se depuran suficientemente o se eliminan de manera inadecuada, pueden constituir una fuente de contaminación y un peligro para la salud. No obstante, el costo de los tratamientos convencionales es alto y, por lo tanto, prohibitivo para la mayoría de los países en desarrollo. Por esta razón los países están experimentando otros tipos de tratamiento, entre ellos los métodos de aplicación en el terreno, incluido el riego.

Si se practican correctamente, estos métodos son simples, de bajo costo y eficaces, tanto para eliminar las aguas residuales como para mejorar su calidad. En los lugares donde las aguas residuales reciben ya tratamiento, esta práctica puede mejorar aún más su calidad a un bajo costo, mientras que, cuando se aplica un tratamiento previo



limitado, podría ser el recurso de eliminación con menor peligro de enfermedades y daños para el ambiente. [Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árboles y bosques, S. Braatz y A. Kandiah]

El reciclaje o reuso es un término genérico que ha sido utilizado principalmente aplicado a la reutilización de los desechos y materias primas empleadas en plantas e industrias. Sin embargo, el agua puede a su vez ser también reciclada y empleada de nuevo para diversos fines a partir de su tratamiento. En este sentido, respecto del agua, el reciclaje constituye un elemento crítico para el manejo de los recursos hídricos que, junto con su conservación, posibilita cumplir con las necesidades ambientales y tener un desarrollo sostenible y una economía viable.

Más específicamente, el reciclaje del agua comprende el conjunto de acciones ingenieras llevadas a cabo para reutilizarla dentro o fuera del proceso de su utilización primaria y se acepta el empleo del término reuso del agua referido a proyectos donde la tecnología utilizada inicialmente en el uso del recurso altera sus propiedades físicas y/o químicas y se hace necesario, mediante diferentes tratamientos, regenerar las propiedades perdidas para entrar de nuevo al ciclo inicial o incorporarla a otro uso productivo donde los requerimientos no sean tan estrictos.

Los avances actuales en las tecnologías de tratamiento de aguas residuales permiten considerar el reuso de los efluentes depurados como sustentable y adecuado en cuanto a sus costos de inversión y a los beneficios que produce.

Los usos a que puede destinarse el agua residual depurada son múltiples, pero generalmente se reconocen como más frecuentes los industriales, los urbanos (reservas contra incendios, lavado de calles y de autos, por ejemplo), los forestales (viveros), los ornamentales y recreativos (jardines y parques), la recarga de acuíferos, los destinados a la mejora y preservación del medio natural y el riego de áreas agrícolas o de césped.

Un programa de reuso planificado del agua residual deberá contemplar la inclusión de tres elementos técnicos: (1) su tratamiento acorde con las normas establecidas para la finalidad en la cual será utilizado el efluente depurado, (2) la definición de la cuantía y variabilidad de la norma bruta de consumo en el área a beneficiar y (3) su almacenamiento o regulación para adecuar el caudal suministrado por la estación regeneradora con la demanda.

La calidad del efluente final de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se puede garantizar acorde con lo establecido para cualquiera de éstos reusos en los siguientes valores de los límites máximos permisibles (LMP) mostrados en la Tabla 2-6 para los principales indicadores de contaminación en aguas depuradas a ser vertidas en corrientes superficiales o a ser recicladas.



Parámetro	Unidades	LMP	Aclaraciones
PH	---	6 - 9	Para residual crudo pH ~ 7.0
Temperatura	°C	40	
Grasas y aceites	mg/L	10	Para residual crudo 40 = G/A = 20 mg/L
Materia flotante	mg/L	Ausente	
SST	mg/L	1	Sólidos Sedimentables Totales
DBO5	mg/L	40	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	mg/L	90	Demanda Química de Oxígeno
Nitrógeno tota	mg/L	10	Nutriente
Fósforo total	mg/L	4	Nutriente
Coliformes totales	NMP/100 mL	5,000	Número más probable de coliformes.
Coliformes fecales	NMP/100 mL	1,000	Indicadores bacteriológicos

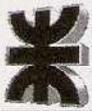
Tabla 2-6. Valores de los límites máximos permisibles.

Las exigencias contenidas en la Tabla 2-6 implican que el sistema de depuración del residual deberá ser completo, es decir, que tendrá que constar de módulos de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario, este último con desinfección y, si así se exige, filtrado.

En resumen, la implantación de un proyecto de reúso planificado del agua tratada para fines de múltiples en un complejo industrial, pasaría a convertirse en un estandarte tecnológico y de prestigio de primera magnitud en todo el país y, además de los beneficios económicos, le conferiría a toda instalación que lo aplique una posición de vanguardia en este aspecto tan importante para un uso racional del agua y para la conservación del medio ambiente. [Ing. Paulino Gonzalez Quintana Jefe de División de Ingeniería Ambiental CESIGMA S.A., Aguas residuales, Sistemas de tratamiento y soluciones ingenieras para el reuso de efluentes, Octubre de 2002]

2.10.2. Ventajas y limitaciones

La práctica del tratamiento de aguas residuales por aplicación (vertido) al suelo (TARVES) ha recobrado interés a la luz de sus innumerables ventajas. Una de sus principales ventajas es de tipo económico, siempre y cuando se lleven a cabo adecuadamente los criterios apropiados de diseño, y sobre todo el tipo de efluente a tratar, ya que el reuso del agua renovada puede ser de gran utilidad en lugares donde existe escasez de agua. Las opciones de reuso han sido tema de diversas investigaciones: irrigación de cultivos y bosques, en usos industriales, en usos domésticos y en usos municipales (Tabla 2-7).



tipo de uso	Tratamiento	Calidad del Agua
Urbana, irrigación de cultivos que se ingieren crudos, áreas verdes	Secundario, filtración y desinfección	pH = 6-9; ≤ 10 mg/L DBO; ≤ 2 NTU Coliformes fecales /100 ml ND ≥ 1 mg/L Cl_2 residual
Irrigación de áreas de acceso restringido, construcción, reuso ambiental	Secundario y desinfección	pH 6-9; ≤ 30 mg/L DBO; ≤ 30 mg/L SST; ≤ 200 col. Fec. /100ml ≥ 1 mg/L Cl_2 residual
Recarga de acuífero no potable por rocío	Depende del sitio y del uso, trat. primario mínimo	Depende del sitio y del uso
Recarga de acuífero no potable por inyección	Depende del sitio y del uso, trat. secundario mínimo	Depende del sitio y del uso
Recarga de acuífero potable por rocío	Depende del sitio y del uso, trat. secundario y desinfección mínimo	Depende del sitio y de los estándares para agua potable después del percolación por la zona vadosa
Recarga de acuífero potable por inyección, ampliación de superficies	Secundario, filtración, desinfección, tratamiento avanzado	pH = 6.5- 8.5; ≤ 2 NTU; ND Coli. Fec./100ml; ≥ 1 mg/L Cl_2 Residual Conociendo los estándares para agua potable

Tabla 2-7. Calidad de agua para reuso.

En agricultura también es posible reducir los costos utilizando monitoreo de aguas residuales y políticas de irrigación-fertilización adecuadas. Sin embargo, las desventajas aparecen cuando estos sistemas no son aplicados en forma apropiada y se generan riesgos para la salud pública: se ha observado que se contaminan los cultivos, o se eutrofican ríos, lagos y estanques.

Otro de los aspectos de alto riesgo está asociado al vertido de aguas residuales de industrias tales como la química, de curtiduría, de minería, sobre todo en países subdesarrollados.

Los tres procesos principales de aplicación al terreno son la irrigación, la infiltración rápida y la escorrentía superficial. La irrigación es un proceso de aplicación al suelo de un efluente para su tratamiento y para proporcionar ciertos compuestos para el crecimiento de las plantas. El efluente aplicado sufre un tratamiento por medios físicos, químicos y biológicos al filtrarse en el suelo.

El efluente es regado por aspersión, inundación o surcos. La infiltración rápida es un tratamiento que se produce cuando el agua atraviesa rápidamente (muchas veces por inyección) la matriz del suelo. Los objetivos del sistema pueden incluir la recarga de acuíferos, el tratamiento natural seguido de la extracción por bombeo o por drenaje para su recuperación y el tratamiento natural con agua renovada que se desplaza vertical y lateralmente en el suelo recargando una corriente de agua superficial.

La escorrentía superficial es esencialmente un proceso de tratamiento biológico en el cual se aplica el agua residual sobre las zonas de un terreno dispuesto en pendiente desde donde fluye a través de la superficie vegetal hasta unas zanjas de recolección.



La renovación del agua se lleva a cabo por medios físicos, químicos y biológicos al fluir el agua residual en una delgada lámina sobre la pendiente relativamente impermeable. [XXX Aniversario de Biotecnología y Bioingeniería, Sistemas de tratamiento de aguas residuales por aplicación al suelo, Dioselina Alvarez Bernal, Silvia M. Contreras Ramos y Héctor M. Poggi Varaldo].

2.10.3. Salud pública

Los aspectos de salud pública que están relacionados con el uso del agua residual involucran la supervivencia de bacterias patógenas y virus en las pequeñas gotas de aerosol pulverizadas sobre y en el interior del suelo. La Organización Mundial de la Salud establece que para el riego sobre cualquier tipo de cultivo el agua no debe tener más de 100 coliformes fecales/100 ml [M.M. Pescod, FAO Irrigation & Drainage (1992)].

Existe la necesidad de contar con zonas de amortiguamiento o desinfección para minimizar riesgos a la salud pública y deben evaluarse, según el caso, los siguientes factores: acceso público al lugar, el tamaño de la zona regada, la posibilidad de disponer de zonas de amortiguamiento o de plantar árboles o arbustos y las condiciones climáticas. [R. Armon et al. Water Sci. Tech. 30, 239 (1994); H. Bouwer y E. Idelovitch, Irrigation & Drainage Eng. 113,516 (1987)]

2.10.4. Revisión mundial de reutilización de aguas residuales

La práctica de regar cultivos agrícolas con aguas residuales urbanas se ha generalizado durante el presente siglo, y en modo particular en los últimos dos decenios, especialmente en las zonas áridas y semiáridas, tanto de los países en desarrollo como de los desarrollados. El aprovechamiento controlado de aguas residuales depuradas y no depuradas para el riego se practica ahora muy comúnmente en Europa, los Estados Unidos, México, Australia, China, la India y el Cercano Oriente, y en menor medida en Chile, el Perú, la Argentina, el Sudán y Sudáfrica [Bartone y Arlosoroff, 1987].

En China, por ejemplo, más de 1,33 millones de ha, principalmente tierras de cultivo, se riegan con aguas residuales. La red de aprovechamiento de aguas residuales de la ciudad de México es la más grande del mundo (90 000 ha de regadío) y en la mayoría de las ciudades del país que cuentan con sistemas de depuración se utilizan las aguas negras.

El tratamiento de las tierras con afluentes de aguas de alcantarillado depuradas es muy común en las zonas secas de los Estados Unidos; por ejemplo, un 7-8 por ciento del volumen total de las aguas residuales urbanas producido en el Estado de California se está usando para la agricultura, el riego de espacios verdes (campos de golf, jardines, arbolados de carreteras, etc.) y la reposición de las aguas freáticas. En 1988, la India tenía 73 000 ha destinadas a campos de aplicación, pero la gestión de muchos de ellos no era rigurosa y podía haber problemas para la salud y el medio ambiente.

Durante los últimos dos o tres decenios, en el Cercano Oriente y algunas partes del Norte de Africa se han emprendido algunos programas de utilización de aguas residuales para el riego de cultivos y espacios verdes con el doble objetivo de eliminar las aguas negras eficazmente y de conservar y reciclar el agua. Si bien el uso de las aguas residuales para el riego de cultivos y prados está ya muy generalizado en



muchas regiones, el riego de los árboles con aguas negras se ha explorado y explotado mucho menos. Hay algunas ciudades como El Cairo, Teherán y otras en el Cercano Oriente, la India y los Estados Unidos, donde se riegan los árboles de calles y jardines y las zonas verdes urbanas con aguas de cloaca depuradas y transportadas en cisternas, y también se han publicado informes sobre casos en que se utilizan afluentes para regar árboles destinados a la producción. Por ejemplo, algunas comunidades de Egipto utilizan aguas residuales o de drenaje, con un tratamiento elemental, para regar arboledas. Las especies usadas más comúnmente son la Casuarina glauca, el Eucalyptus camuldulensis y el Tamarix aphylla. De estas especies se obtiene leña para el consumo propio y varas que se venden en los mercados locales. [El-Lakany, 1995]

Sin embargo, en general, el aprovechamiento en gran escala de las aguas residuales para el riego de plantaciones de árboles o bosques es aún relativamente limitado y se hace más en función de la eliminación y tratamiento de los desechos que para aumentar la producción forestal. [Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árboles y bosques, S. Braatz y A. Kandiah]

2.10.5. *Discusión sobre el reúso del agua residual*

Aunque en muchos países se utilizan desde hace mucho tiempo las aguas residuales urbanas para el riego, lo que principalmente se ha pretendido con ello es su eliminación. Sólo recientemente se han puesto de relieve los aspectos productivos y de purificación del agua. Ha prevalecido la tendencia a utilizar las aguas residuales para regar los cultivos.

Por ello se han establecido normas de calidad y directrices sobre su utilización para el riego de los cultivos agrícolas, pero no de los árboles. Sin embargo, hay razones de peso para estudiar a fondo la viabilidad de emplearlas en mayor medida para el riego de los bosques y de las plantaciones de árboles. Entre tales razones cabe señalar los factores relacionados con la salud (riesgo de contaminación de los cultivos alimentarios por elementos patógenos y metales pesados), las consideraciones ambientales (los beneficios derivados de las zonas verdes y de otras plantaciones forestales urbanas y periurbanas), los beneficios económicos (el valor de los productos forestales y de los servicios ambientales, que normalmente están subvalorados) y los beneficios sociales y estéticos.

Estos factores, unidos a la gran demanda de leña y materiales de construcción para abastecer al creciente número de habitantes urbanos de bajos ingresos en muchas ciudades de los países en desarrollo, así como al aumento de los precios de mercado de la madera, han hecho crecer el interés en la riego de plantaciones de árboles. [Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árboles y bosques, S. Braatz y A. Kandiah]

2.11. Avances y nuevos sistemas en el tratamiento de aguas residuales

Se detallan a continuación los distintos avances que se han dado mundialmente en los tratamientos de aguas residuales. Se hizo una selección de los más importantes, teniendo en cuenta que a diario, empresas de todo el mundo producen pequeñas reformas en sus equipamientos, sin que ello signifique grandes avances en la temática que nos ocupa.



2.11.1. Sedimentador compacto

Expertos mundiales en abastecimiento de agua y tratamiento de aguas residuales han acudido a conocer un nuevo y revolucionario sistema instalado en varios lugares del Reino Unido. Se trata de una unidad nueva y compacta que ha conseguido varios Premios, entre ellos el Environment Prize de los Business Commitment to the Environment Awards además de otro de la Royal Academy of Engineering. El "Separador espiral Hoxar" (así llamado por su inventor el ingeniero David de Hoxar) es básicamente un aparato de sedimentación por gravedad instalado en el interior de un tanque en el que se separan el lodo y el agua.

El equipo, aparecido en el mercado en un momento muy oportuno coincidiendo con la directiva de tratamiento de aguas residuales urbanas de la Unión Europea, ha promovido la limpieza de muchas playas del Reino Unido así como la reducción de la cantidad de aguas residuales vertidas en ellas. Para cumplirla, diversas empresas británicas de abastecimiento de aguas han iniciado planes de mejora de sus instalaciones de tratamiento, muchas de las cuales están situadas en lugares muy pequeños, instalando estos nuevos separadores.

El aparato está constituido por unas fuertes aletas de plástico en forma de espiral instaladas en un tanque circular. Al girar las aletas, los residuos sólidos en suspensión en el agua se depositan en ellas y descienden hacia el fondo del tanque, del que se pueden extraer fácilmente.

Los separadores en espiral sólo ocupan el 3 % del espacio de los tanques de sedimentación convencionales y entre el 25 y el 33 % del espacio necesario para un separador de láminas planas, el método más parecido. Otra ventaja es el excelente espesamiento de los lodos, que produce un gran ahorro en las instalaciones de tratamiento de los mismos.

Desde un punto de vista más técnico, el separador Hoxar consiste en una serie de placas en espiral, formando una hélice que se coloca dentro de un tanque de gran altura. Cada conjunto de placas está formado a su vez por otras más pequeñas de plástico reforzado con fibra de vidrio. Las placas son de una forma que les da mayor resistencia y rigidez para evitar tener que instalar separadores o uniones estructurales entre ellas para mantener su forma.

Las aguas residuales entran en el separador por un tubo situado al lado del tanque que pasa hasta el eje del conjunto de las placas. Antes de llegar a las placas, el agua sucia llega hasta ese eje, que actúa como deflector. Como el conjunto de placas gira continuamente, aumenta la velocidad relativa de sedimentación de las partículas y, por consiguiente, la eficiencia de eliminación de los sólidos.

Las partículas en suspensión, que son más pesadas, se depositan en las placas mientras que el agua se desliza por la parte superior antes de salir del separador. Los sólidos sedimentados forman un lodo coalescente que se desliza por las placas y las paredes del tanque hasta el fondo.



Básicamente, el separador es una especie de turbina de caudal centrífugo en la que el movimiento de los lodos por el hueco anular que forman las placas y la paredes del tanque aseguran que dichos lodos no se mezclan con el agua sucia que entra por el fondo. En la sedimentación primaria de las aguas residuales, el separador consigue normalmente la eliminación del 50 % de los sólidos en suspensión y del 35 % de la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) sin tener que añadir coagulantes químicos. Si se añaden, se consigue eliminar el 80 % de los sólidos en suspensión y el 55% de la DBO. Es de observar que la eliminación del oxígeno depende en gran medida de la solubilidad de los lodos.

Esta configuración permite al se-parador tratar aguas residuales con gran proporción de grasa y aceite sin tener que pasar por una fase específica de eliminación de gases. Las que se recogen en la parte inferior de las placas van descendiendo a través de eje central, hasta llegar al espacio circular que queda entre la tubería de entrada y el eje de la espiral. Dentro de ese espacio, la grasa flota y se recoge en un recipiente especial, pasando a una bomba de grasas.

Una limitación importante del sistema convencional de láminas es que son muy adecuadas para tanques rectangulares y relativamente poco profundos, que ocupan mucha más superficie y además limitan el efecto de consolidación de los lodos, produciendo lodos de gran concentración con cerca del 1 % de sólidos secos, lo que requiere a menudo una fase intermedia de separación-espesamiento. El nuevo método supera estas limitaciones porque los lodos se concentran y espesan en el espacio circular que queda entre las placas y la pared del tanque.

El proceso se acelera gracias a que la rotación de las placas produce una suave acción cortante. De este modo se consiguen lodos con un contenido en sólidos entre el 8 y el 10 % sin necesidad de utilizar productos químicos. Al producirse en el mismo proceso la consolidación y espesamiento del lodo, no se necesita una fase adicional.

La espiral de plástico se fabrica mediante técnicas de moldeado de resinas por transferencia que permiten montar las placas in situ favoreciendo su comercialización. Siguiendo con el proceso de desarrollo del separador, la siguiente fase consistirá en fabricar placas mediante un proceso mucho más barato, de moldeado de polipropileno en vacío. También se está modificando la forma de las placas para aumentar su resistencia intrínseca, pues el polipropileno es un material más blando. [Revista DYNA, publicación Octubre 2004, Nuevo sistema en el tratamiento de aguas residuales].

2.11.2. *Sistemas electroquímicos y fotoquímicos para el tratamiento de aguas residuales*

Si bien este es un proceso que entra dentro de los que denominamos nuevos, su explicación de funcionamiento se adentra principalmente en formulas y reacciones químicas, por este motivo, se hará una pequeña referencia al mismo. Sin embargo, en caso de querer profundizar conocimientos sobre el tema, se encuentra a disposición en Internet el trabajo de investigación completo, pudiendo el lector remitirse a la referencia que abajo se cita.



Con la creciente presión hacia un uso más racional del recurso hídrico, el desarrollo de tecnologías apropiadas de tratamiento de aguas es cada vez más urgente. Debido ello, en los últimos años se han propuesto procesos de oxidación fotoquímicos y electroquímicos como alternativa para el tratamiento de aguas contaminadas con sustancias antropogénicas difícilmente biodegradables, así como para eliminar bacterias en aguas destinadas al consumo humano.

El objetivo de este trabajo es presentar algunas de las más recientes investigaciones que demuestran que tanto la electroquímica como la fotoquímica, al igual que el acople de estos procesos con tratamientos biológicos, son alternativas muy prometedoras para aumentar la calidad del agua.

Los resultados que se presentaron corroboran la eficiencia de la electroquímica y de la fotocatalisis para destruir contaminantes biológicos y químicos, lo cual aumenta la calidad del agua. La combinación de estos procesos, como tratamiento preliminar, seguida por un proceso biológico, es muy prometedora desde el punto de vista económico. Sin embargo, la estrategia de acoplar estos sistemas no es una solución universal. Estudios químicos, biológicos y cinéticos deben llevarse a cabo siempre para toda clase de compuestos y aguas residuales con el fin de asegurarse de que el proceso de pretratamiento favorece su compatibilidad con un tratamiento posterior biológico. [Revista colombiana de Química, Volumen 34, No. 2 de 2005, Nuevos sistemas electroquímicos y fotoquímicos para el tratamiento de aguas residuales, Víctor M. Sarria, Sandra Parra, Ángela G. Rincón, Ricardo A. Torres y César Pulgarín]

2.11.3. Tratamiento por rayos UV

Con una mayor conciencia pública de la contaminación en los abastecimientos de agua ocurrida en estos años, ha dado lugar al uso acertado de métodos de tratamiento alternativos, como el tratamiento UV.

En este sentido, se ofrecen sistemas UV completos para las industrias de la alta tecnología tales como farmacéuticas, químicas, de producción de semiconductores, de producción de refrescos, autoridades de agua, de agua potable y plataformas costeras.

En el otro extremo, los sistemas domésticos del bajo costo han estado solucionando con éxito los problemas individuales de la calidad del agua durante muchos años.

2.11.3.1. Ventajas

Entre las ventajas más importantes que podemos encontrar en esta clase de sistemas, se citan los siguientes:

- UV no altera gusto, olor, color o el pH del agua
- UV no requiere la adición de productos químicos
- UV no confiere subproductos tóxicos en el agua
- Los sistemas UV son compactos y fáciles de instalar
- Los sistemas UV requieren un mantenimiento muy pequeño
- Los costes corrientes son a menudo más bajos que los de una bombilla de casa



2.11.3.2. *Principio de funcionamiento en aguas residuales*

El sistema agua residual UV está basado en un flujo de parte a parte de la disposición del canal, que se incorpora a los canales del acero inoxidable provistos por Willand, o los canales concretos provistos por otros grupos.

El sistema de aguas residuales utiliza las lámparas de descarga UV del mercurio de presión media, que permite ser incluida una salida de energía variable de la lámpara, esta aumenta la vida de la lámpara, y el rendimiento energético aumenta por medio de un control de la dosis de UV

Cada sistema de características de banco de lámparas de presión media de UV está divididas en lámparas renovables independientemente, con lo que pueden ser reemplazados sin necesidad de apagar el sistema. Una imagen del sistema se puede observar en la Figura 2-21. [Website www.lenntech.com, sistemas UV en aguas residuales, Compañia Lenntech].

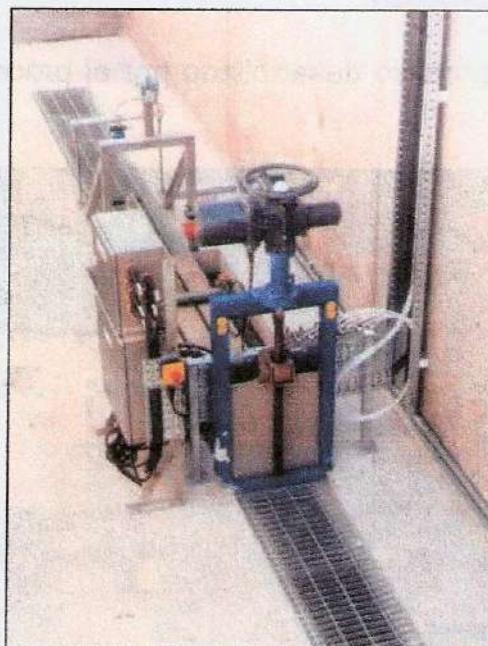


Figura 2-21- Equipo para la desinfección por rayos UV.

2.11.4. *Oxidación catalítica por aire húmedo*

Esta metodología se muestra como una alternativa a la desinfección por métodos tradicionales, de ahí que nos parece importante dejarla sentada, mas allá de que es un producto producido por una sola empresa y el cual no se encuentra masivamente usado.

El proceso de OCAH es capaz de convertir todos los contaminantes orgánicos en última instancia al dióxido de carbono y agua, y puede también quitar componentes inorgánicos oxidizables tales como cianuros y amoníaco. El proceso utiliza el aire como agente oxidante, que se mezcla con el efluente y se pasa sobre un catalizador a temperaturas y presiones elevadas. Si el retiro de la DQO completo no se requiere, la



proporción de aire, la temperatura y la presión se pueden reducir, por lo tanto se reducen los gastos de explotación.

OCAH es particularmente rentable para los efluentes que están altamente concentrados (las demandas de oxígeno producido por reacción química de 10.000 o sobre 100.000 mg/l) o que contienen los componentes que no son fácilmente biodegradables o son tóxicos a los sistemas de tratamiento biológicos. Las plantas de proceso de OCAH también ofrecen la ventaja de que pueden ser altamente automatizadas para el funcionamiento sin atención, para tener huellas relativamente pequeñas de la planta, y pueden ocuparse de caudales y de composiciones de efluentes variables.

El proceso no es rentable comparado con otros procesos de oxidación avanzadas o los procesos biológicos para los efluentes ligeramente contaminados (DQO menor de 5.000 mg/l).

2.11.4.1. Descripción del proceso

El proceso de OCAH es un proceso desarrollado por el proceso de oxidación de aire húmedo (OAH).

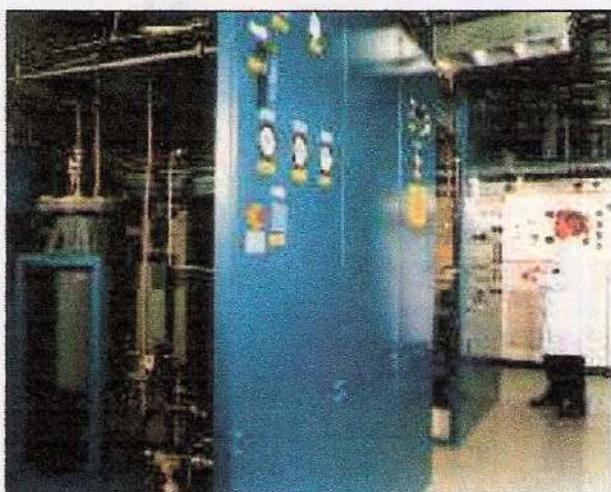


Figura 2-22. Equipo para la desinfección por OCAH.

Contaminantes orgánicos y los algunos inorgánicos son oxidados en la fase líquida entrando en contacto el líquido con el aire a alta presión a las temperaturas que están típicamente comprendidas entre 120 °C y 310 °C. En el proceso de OCAH la fase líquida y el aire a alta presión se pasan en forma de co-corriente sobre un catalizador inmóvil de cama. La presión de funcionamiento se mantiene bien sobre la presión de saturación del agua a las temperaturas de la reacción (generalmente cerca de 15-60) de modo que la reacción ocurra en la fase líquida. Esto permite a los procesos de la oxidación proceder en temperaturas más bajas que son requeridos para la incineración. Los tiempos de residencia son a partir 30 minutos a 90 minutos, y el retiro de la demanda de oxígeno producido por reacción química puede típicamente ser de cerca del 75% a el 99%. El efecto del catalizador es proporcionar un grado más alto de Retiro



de DQO que es obtenido por OCH en las condiciones comparables (sobre el retiro del 99% puede ser alcanzado), o reducir el tiempo de residencia.

Los compuestos orgánicos se pueden convertir al dióxido de carbono y al agua en las temperaturas más altas; los heteroátomos del nitrógeno y del sulfuro se convierten al nitrógeno y a los sulfatos moleculares. El proceso llega a ser autogénico en los niveles de DQO cercano a 10.000 mg/l, en los cuales el sistema requerirá energía externa solamente en el encendido.

El equipo utilizado para este proceso se aprecia en la Figura 2-22.

2.11.5. *Depuradoras para Tratamiento de Aguas Residuales*

Las depuradoras Biodigester reproducen e intensifican de manera artificial y controlada, en poco espacio y breve tiempo, los mecanismos de auto depuración natural de los ríos. Para el funcionamiento mediante fangos activos en suspensión (conocido como sistema de aireación prolongada u oxidación total) se suministra aire a la planta Biodigester con un soplante externo. Este aire se dispersa por difusores desde el fondo de la cámara de tratamiento interna. Este constante suministro sobredimensionado de oxígeno acelera la actividad aerobia digestiva de los microorganismos naturales. Medios móviles de plástico en suspensión facilitan un área de gran superficie a la que los microorganismos se adhieren y además, como los medios son móviles, permiten una agitación inducida que degrada las materias densas, convirtiéndolas en agua tratada limpia y en fangos no tóxicos o contaminantes. Este aire disperso también actúa como un "ascensor de oxígeno" que recircula los fangos de la zona de decantación externa a la zona de tratamiento interna. Esta recirculación natural también asegura que ambas cámaras permanecen aerobias y no se producen gases. El proceso funciona las 24 horas del día de forma continua (regulable para las aplicaciones de uso temporal), de ahí la ausencia de olores. Este ambiente enriquecido en oxígeno, altamente oxidante, permite obtener un grado de depuración superior al 90%, rendimiento superior al exigido por las normativas europeas y españolas, lo que hace que el agua tratada sea apta para riego soterrado. Se aprecia en la Figura 2-23 el equipo utilizado para este proceso. [Website www.agrotterra.com, Depuradoras, Douglas Hogge, Compañía Biodigester Ibérica].



Figura 2-23. Depuradora



2.11.5.1. *Aplicaciones*

Esta clase de producto tiene aplicación en los siguientes ítems:

- Depuradoras para Viviendas
- Segundas Residencias
- Pequeñas Urbanizaciones
- Hoteles y Restauración
- Centros Deportivos
- Escuelas
- Camping

Nos parece importante citar este producto debido a que este tratamiento puede ser tomado como una alternativa moderna a las fosas sépticas.

2.11.6. ***Sistema de tratamiento compacto***

Si bien esta clase de sistemas de tratamiento viene siendo ampliamente usado desde ya hace varios años, nos parece conveniente comentar sobre este producto en especial ya que presenta algunas ventajas de importancia en esta clase de tecnología y, además, es un producto fabricado y comercializado totalmente en Uruguay, probando de esa manera que en la región (Latinoamérica), se cuenta con la suficiente capacidad para la generación de tecnología en pos del cuidado del medio ambiente.

2.11.6.1. *Definición del producto*

Son unidades prefabricadas, de diseño totalmente integral, autosuficientes, alojadas dentro de contenedores marítimo estándar (20 o 40 pies) fácilmente transportables y diseñadas para aplicaciones de pequeños volúmenes.

Ecoplan cuenta con productos capaces de procesar hasta 25,000 galones de aguas residuales por día en una sola unidad. El concepto modular permite utilizar múltiples unidades en tandem para tratar volúmenes más grandes o pueden dar una solución alternativa a necesidades de ampliación o transformación de sistemas completos. [Website www.ecoplan.com, Soluciones de ingeniería, Compañía Ecoplan].

2.11.6.2. *Principales procesos del tratamiento*

Sedimentación Primaria: retención de sólidos gruesos, flotantes y otros elementos no aptos para ser tratados en la planta.

Aireación: comienza la digestión aeróbica del líquido residual: el mixing y oxigenación del mismo se realiza mediante difusores de aire de membrana elástica, ubicados en el fondo del reactor.

Sedimentación Secundaria: se sedimentan los sólidos que contienen el líquido residual. Los sólidos forman una capa de fango en el fondo del sedimentador, los que son recirculados por un sistema "air lift" hacia la entrada del reactor.



Digestión Aeróbica: con la digestión aeróbica del fango, se obtienen menores concentraciones de BOD en el líquido sobrenadante y un líquido residual biológicamente estable y exento de olores.

Acumulación de Lodos Aeróbica: por un proceso de Air Lift, los lodos sedimentados diariamente en el digester aeróbico son aireados mediante difusores de membrana, los lodos acumulados se retiran mediante barométrica periódicamente.

Desinfección: se realiza mediante la dosificación de hipoclorito de sodio o tratamiento con lámparas ultravioletas. [Website www.ecoplan.com, Soluciones de ingeniería, Compañía Ecoplan].

2.11.6.3. *Aplicaciones*

Estos productos están diseñados para tratar aguas residuales domésticas residenciales y aguas de desechos industriales, generando un efluente que se encuentra de acuerdo con las normas medioambientales.

- Implantación en lugares donde no existe tratamiento de los líquidos residuales
- Sustitución total o parcial de sistemas de tratamiento de líquidos residuales existentes con la finalidad de :
- Ampliar la capacidad de tratamiento de líquidos residuales de forma inmediata
- Sacar de servicio unidades existentes para realizar ampliaciones, remodelaciones o mantenimientos sin interrumpir el servicio de tratamiento
- Mejorar la calidad del líquido tratado para que el vertimiento a cursos de agua o infiltraciones al terreno cumpla con los estándares exigidos.

[Website www.ecoplan.com, Soluciones de ingeniería, Compañía Ecoplan].

2.11.6.4. *Ventajas competitivas*

- Planta Aeróbica, lo cual permite obtener un líquido residual sin olor séptico y biológicamente estable.
- Transportabilidad internacional. Sus dimensiones idénticas a las de los contenedores marítimos de 20 y 40 pies, permiten un transporte internacional y local más ágil, eficiente y económico.
- Modulares, permiten la expansión de la capacidad de procesamiento mediante la adición de nuevos módulos, asegurando la optimización de la inversión en el tiempo.
- Reubicación geográfica y reutilización de la inversión realizada
- Alto grado de depuración de los líquidos residuales en una menor superficie.
- Disminución de los costos de saneamiento por fácil ubicación de las plantas por cuencas y subcuencas de saneamiento.
- Solución permanente y sostenible al problema ambiental para el vertimiento de los líquidos residuales.
- De fácil operación y mantenimiento.
- Costos mínimos de mantenimiento y operación.
- Rápida instalación y puesta en funcionamiento: menos de 20 días

En la Figura 2-24 se aprecian equipos de tratamiento compacto. [Website www.ecoplan.com, Soluciones de ingeniería, Compañía Ecoplan].

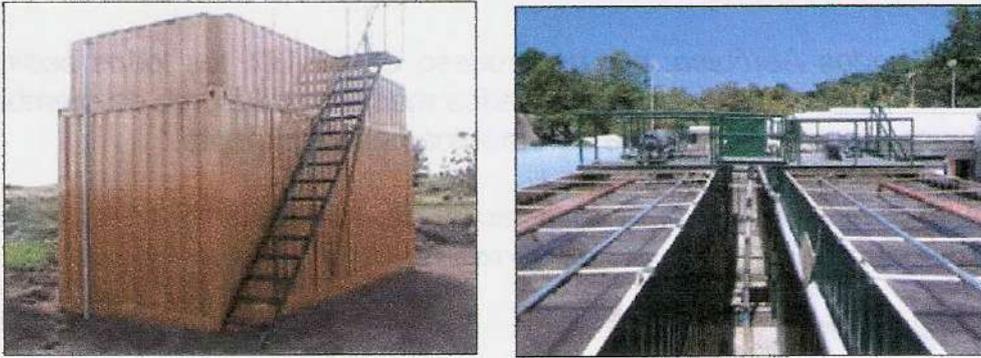


Figura 2-24. Equipo de tratamiento compacto

2.11.7. La utilización de membranas

Haremos a continuación una breve introducción al tema de las membranas aplicadas al tratamiento de las aguas. Es de interés debido a los grandes avances de esta clase de tecnología en los últimos tiempos y, gracias a ello, a las ventajas que presenta con respecto a la mayoría de los sistemas convencionales.

2.11.7.1. Introducción

Las anteriores aplicaciones y otras muchas son inmejorablemente resueltas por instalaciones que incluyen las membranas como barrera al paso de la contaminación, sea ésta del tipo que sea (en suspensión, disuelta, orgánica o inorgánica, tóxica, biológica, etc.). Las membranas pueden "fabricarse a medida" del problema adaptándose muy bien a casi todos los casos. Cada vez son más resistentes mecánica y químicamente y sus precios más asequibles. La relación calidad de agua tratada precio abonado es muy difícil de mejorar por procedimientos de tratamiento clásicos. El coste adicional que pudiera suponerla utilización de membranas para re-solver estas cuestiones es, por otra parte, cada vez más marginal en la factura al usuario final. [Revista DYNA, Julio – Agosto – Setiembre 2005, Las membranas: una respuesta de presente y futuro en el tratamiento de todo tipo de aguas, Juan Manuel Crovetto de la Torre Doctor Ingeniero Industrial]

2.11.7.2. Definición de membranas

Es una estructura de uno o varios polímeros, de bajo espesor y gran superficie, provista de un gran número de poros homogéneos, perfectamente continua (ausencia casi total de defectos) que permite el paso del agua, impidiendo parcial o totalmente el paso de las partículas (en suspensión, coloidales o disueltas) que la acompañan. Se puede fabricar en forma de tela o en forma de fibra hueca; en este caso, puede ser de un tamaño que va desde el capilar hasta algunos centímetros de diámetro (tubular). Normalmente, las membranas presentan una sola "cara activa", es decir, una superficie que reúne las exactas características de porosidad que se pretenden. [Revista DYNA, Julio – Agosto – Setiembre 2005, Las membranas: una respuesta de presente y futuro en el tratamiento de todo tipo de aguas, Juan Manuel Crovetto de la Torre Doctor Ingeniero Industrial]



2.11.7.3. *Para que sirven y su importancia*

En primer lugar, indiquemos que el tratamiento de agua a través de membranas semipermeables es posiblemente el sistema más ecológico que puede utilizarse. Ello se debe a que la membrana solamente hace un efecto de separación de un flujo contaminado en otros dos. El primero de ellos, el que atraviesa la membrana (permeado), es el que más frecuentemente tiene una aplicación. El segundo flujo, que oscila entre el 10 y el 50% del flujo original contiene la totalidad de la contaminación original o de los elementos que acompañan al agua bruta. Este trabajo lo realiza la membrana de tina forma mecánica sin que normalmente sea necesario adicionar cantidades significativas de re-activos o efectuar regeneraciones químicas frecuentes (por ejemplo, caso de los cambiadores de iones) y también sin cambio de estado en el agua.

Por otra parte, las características del agua producida a través de membranas son sensiblemente mejores que la que se obtiene por los procedimientos clásicos de depuración.

Otro aspecto interesante de la utilización de membranas en el tratamiento del agua es la gran compacidad de las obras que se realizan. Efectivamente, la elevada superficie de cara activa que puede disponerse por unidad de volumen, disminuye la superficie necesaria para la implantación de las instalaciones.

Finalmente, el precio de las instalaciones de membranas es cada vez más comparable y, en muchos casos, sensiblemente mejor que el que se obtiene por procedimientos clásicos de depuración. [Revista DYNA, Julio – Agosto – Setiembre 2005, Las membranas: una respuesta de presente y futuro en el tratamiento de todo tipo de aguas, Juan Manuel Crovetto de la Torre Doctor Ingeniero Industrial]

2.11.7.4. *Discusión sobre el uso de las membranas*

Nos encontramos ante un producto, la membrana, que engloba una muy amplia gama de calidades y configuraciones. Éstas y aquéllas pueden realizarse "a medida" del problema que pretendemos resolver. Las aplicaciones, originalmente limitadas a desalación de aguas salobres o marinas, se multiplican y son otros los campos en los que su uso permite realizar instalaciones más ecológicas, menos costosas y más industriales. Adicionalmente la calidad de "agua tratada" es sensiblemente mejor en casi todos los parámetros, a la obtenible por procedimientos clásicos. Esto último introduce un cambio cualitativo (en especial) a los procesos de reutilización de aguas usadas, dando entrada a nuevas aplicaciones del agua usada no alcanzables hasta ahora. Si consideramos que lo anterior se consigue con instalaciones mínimamente agresivas con el medio ambiente, debemos valorar los sistemas de tratamiento de agua que usan membranas como una opción del mayor interés al proyectar las nuevas instalaciones de tratamiento. [Revista DYNA, Julio – Agosto – Setiembre 2005, Las membranas: una respuesta de presente y futuro en el tratamiento de todo tipo de aguas, Juan Manuel Crovetto de la Torre Doctor Ingeniero Industrial]

2.11.8. Sistema TOHÁ

El método de tratamiento, Sistema Tohá, para residuos industriales líquidos orgánicos y de aguas servidas fue creado por el Profesor José Tohá Castellá junto a su equipo de colaboradores en el Laboratorio de Biofísica de la Universidad de Chile.

El Sistema Tohá ha sido estudiado ampliamente en la estación de Cexas, Melipilla (perteneciente a EMOS), primera planta de tratamiento de aguas servidas para una población de 1.000 personas construida en 1994 con el financiamiento de FONDEF. Además se sigue estudiando en el laboratorio de Biofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad de Chile.

Los resultados de esta experiencia presentan gran eficacia en la remoción de materia orgánica, así también como la de microorganismos patógenos. Además es económica respecto a la inversión y operación del sistema en comparación con otras tecnologías utilizadas para el tratamiento de residuos industriales líquidos.

El Sistema Tohá es un sistema ecológico de tratamiento de aguas servidas y residuos industriales líquidos utilizado en diversos lugares del país y del mundo, en definitiva para solucionar problemas de escasez de agua y mejorar las condiciones de vida. Este Sistema da a lugar un Biofiltro Dinámico y Aeróbico que consiste en una serie de procedimientos y materiales a emplear, que sin duda son tema de estudio para diseñar y conocer el funcionamiento del Lombrifiltro, también llamado así porque a diferencia de otros Biofiltros éste consiste en un filtro compuesto de lombrices que degradan la materia orgánica de los residuos industriales líquidos.

2.11.8.1. Etapas del sistema

El Sistema Tohá a grandes rasgos consta de dos etapas fundamentales para la purificación de residuos industriales líquidos y para aguas servidas. En forma esquemática se ve en la Figura 2-25 los procesos que sigue dicho sistema.



Figura 2-25. Etapas del Sistema Tohá.



En la primera, el agua residual escurre por gravedad a través de un biofiltro constituido por cuatro capas de diversos materiales (lombrices y humus, aserrín y viruta, grava, bolones) y que contiene micro y macro organismos. Aquí se absorbe y procesa la materia orgánica.

En la segunda etapa del tratamiento, el efluente es derivado a una cámara de irradiación ultravioleta en donde se logra la eliminación de las bacterias patógenas en menos de un minuto. En la siguiente etapa se aprecia la eficiencia de los rayos UV aplicados a los efluentes que salen del Sistema Tohá o Biofiltro en función de agentes patógenos y del tiempo en que toma su eliminación, esta etapa por lo general se utiliza para tratamientos de aguas servidas.

Los siguientes elementos diferencian este sistema de los tratamientos tradicionales de aguas servidas y de residuos industriales líquidos:

- Es un tratamiento global del agua servida.
- No hay formación de lodos, ya que la materia orgánica es consumida.
- El tratamiento se hace en un soporte sólido, lo cual implica un menor espacio.
- El biofiltro no se satura, debido a la acción de micro y macroorganismos.
- Es ecológico porque no se usan aditivos químicos ni se producen residuos contaminantes; hay muy poco consumo de energía.
- Se necesita poco espacio: el agua servida de 5 personas requiere solo 1 m² de biofiltro para su tratamiento.
- Es económico porque: los costos de construcción y mantenimiento son menores que en los sistemas tradicionales y el agua puede ser inmediatamente reutilizada para regadío.
- Es eficiente porque se alcanza un alto grado de purificación con una remoción de hasta 96% de DBO y sólidos suspendidos.

Las ventajas específicas de estos elementos se pueden detallar en los siguientes puntos, como lo explica Guzmán, M. (2004):

- No produce lodos inestables, por lo que este sistema degrada la totalidad de sólidos orgánicos del agua servida y de riles, sin producir lodos inestables como los tratamientos tradicionales, físico-químicos, sólo es necesario un sistema previo, un pretratamiento físico que separa los sólidos y grasas y aceites que puedan obstruir la distribución del agua al biofiltro.
- El lecho filtrante no se impermeabiliza como sucede con otros sistemas de filtros, ni tampoco se colma. Esta propiedad se debe principalmente a la acción de las lombrices que, con su incansable movimiento, crean túneles y canales que aseguran la alta permeabilidad del filtro. Los materiales sólidos orgánicos presentes en las aguas residuales, que colmatan o tapan otros filtros, en este caso son digeridos por las lombrices.
- Bajos costos de inversión y operación, debido a que el biofiltro requiere esencialmente de la construcción de obras civiles, como movimiento de tierra, estanques enterrados, pinping, muros de albañilería y canales de hormigón. Por otra parte, el Biofiltro tiene bajos requerimientos energéticos, ya que requiere solamente la energía necesaria para activar las bombas de la plata elevadora y



los tubos del sistema de desinfección por radiación ultravioleta. Por otro lado, la operación del sistema es simple y semejante a prácticas agrícolas, de fácil asimilación por pequeñas comunidades agrarias.

- Produce un subproducto que puede ser utilizado como abono natural, ya que la materia orgánica contenida en las aguas residuales es convertida en masa corporal de lombrices y en humus de lombriz, cada cierto tiempo puede extraerse los excesos de humus, y así reconstruir la estratigrafía inicial del Biofiltro, y ser utilizados como excelente abono agrícola cuyo uso incluso en forma excesiva no daña ni quema a las plantas como es el caso de los fertilizantes químicos. Adicionalmente, se puede destacar que las lombrices pueden ser utilizadas como alimento de aves y peces o como fuente de materia rica en proteínas.

En el Grafico 2-1 se muestra la eficiencia en valores promedios de DBO, sólidos suspendidos totales (S. S. Totales), volátiles (S. S. Volátiles), nitrógeno (N) y fósforo (P), antes y después del tratamiento.

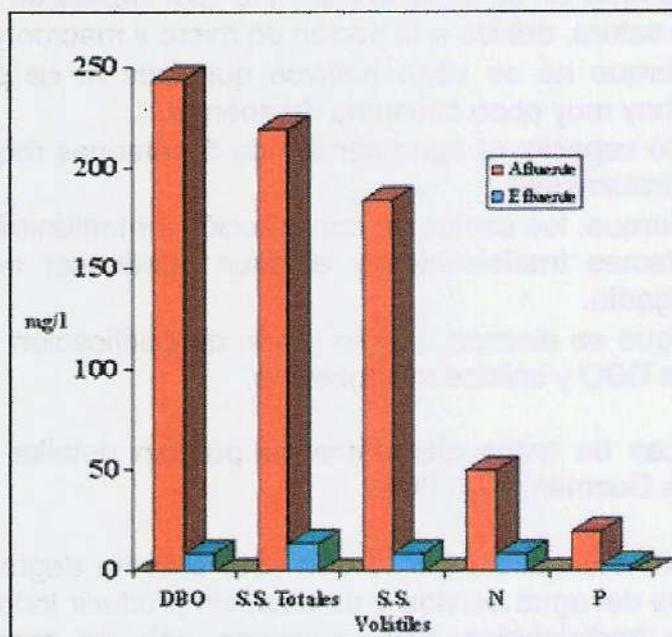


Grafico 2-1. Eficiencia del sistema en tratamiento de aguas servidas.

Por último cabe señalar, según Fundación para la Transferencia Tecnológica (2004), los grados de aplicación potencial son muy amplios. Esto se debe a que el Sistema Tohá puede ser dimensionado a cualquier escala, mediante módulos.

En plantas de tratamientos de aguas servidas se pueden mencionar: Residenciales privadas; escuelas; comunidades rurales; balnearios, condominios, campamentos; municipalidades, poblaciones, aeropuertos.

Aplicaciones posibles para tratamientos de Riles: Mataderos; empresas frutícolas; empresas vitivinícolas; en general, toda empresa del área agro-alimenticia.



2.11.8.2. *Lombricultura*

Una respuesta a los problemas de contaminación orgánica es justamente la Lombricultura, simple, racional y económica. Es una Biotecnología que utiliza, a una especie domesticada de lombriz, Lombriz Eisenia foetida o lombriz roja californiana; recicla todo tipo de materia orgánica y se genera como resultado de este trabajo Humus, un fertilizante orgánico de primer orden, que es la feca de la lombriz que se utiliza fundamentalmente para mejorar los suelos.

Estas lombrices consumen la materia orgánica de los afluentes residuales transformándola por oxidación en anhídrido carbónico y agua. Producto de ello pasa a ser masa corporal en una tercera parte y la restante en humus, por lo tanto no se generan lodos. Además en este sistema de tratamiento de RIL se origina una gran flora bacteriana que degrada materia orgánica existente.

2.11.8.3. *Características físicas*

Esta lombriz es autosuficiente, vive en cautiverio un promedio de 15 años, alcanza el estado adulto entre los 7 y 9 meses llegando a medir 10 centímetros de largo. Es una especie rústica, sin embargo no soporta la luz solar directa. Su pequeño tamaño favorece la calidad de su defecación que elimina en calidad de humus.

El total de lombrices va a depender de la cantidad de alimentos que exista. Come todo tipo de materia orgánica, consume cada día el equivalente a su peso.

Las lombrices viven sobre la superficie del suelo, en condiciones adversas penetra en la tierra, van excavando el suelo en que están a medida que comen, de manera que recicla la materia orgánica y por ende también feca de otros animales; esta materia degradada por la lombriz a su vez se sigue descomponiendo por efecto de los microorganismos pasando a ser de feca a humus.

Esta especie no contrae ni transmite enfermedades. "Los organismos patógenos como las bacterias, hongos y protozoos forman parte de su dieta alimenticia, organismos que al ingerirlos los destruye en su tracto intestinal, transformándolos en componentes de sus fecas". [Basaure, 1993].

2.11.8.3.1. *Depredadores de la lombriz*

Según Basaure (1993), un factor importante para la preservación de la lombriz, es tener claro que tipo de depredadores la pone en riesgo, pues bien en el interior de cada lecho es posible encontrar variados insectos, como el ciempiés, arácnidos y otros como hormigas que compiten por grasa y azúcares, que no son depredadores de la lombriz, comparten el hábitat de la lombriz simplificando su trabajo, ya que al contar con un aparato bucal masticador, muelen la materia orgánica y les facilitan la ingesta del alimento.

Las aves en general son depredadores naturales de las lombrices por eso es recomendable que los lechos deban estar debidamente protegidos por mallas que protejan la superficie del biofiltros como se ven la Figura 2-26.



Figura 2-26. Lombrifiltro protegido por mallas de Fjord Sea Food S.A.

2.11.8.3.2. Alimentación

Con respecto a su alimentación, se ha mencionado que todo residuo orgánico de origen vegetal o animal puede incorporarse como materia prima en la dieta alimenticia de la lombriz.

Basaure (1993) explica que la altura de cada cama depende de los factores climáticos de la zona donde se instalará el plantel y del tipo de material a reciclar principalmente, como se ve la Tabla 2-8.

Factor a considerar	Altura recomendada de la cama
Clima cálido	menor altura
Clima frío	mayor altura
Material blando a reciclar	menor altura
Material de fibras duras	mayor altura
Estiércol o similar más material fibroso	70 centímetros
Materiales muy fibrosos	140 centímetros

Tabla 2-8. Alturas recomendables para la capa de aserrín.

La cama de reciclaje se forma por la incorporación en capas de los materiales orgánicos disponibles es decir, capas de aserrín y viruta, hasta llegar a la altura deseada. Cada capa debe ser bien mojada para facilitar su descomposición. Cada cama debe considerar una ventilación central. Se debe evitar la compactación de la masa, dado que ello obstaculiza el proceso.

El proceso de descomposición que ocurre en las capas contempla dos fases o etapas que se detallan en la Tabla 2-9.



Fase	Descripción
Anaeróbica	<p>Fase que se realiza en ausencia de oxígeno. A los dos o tres días se inicia una fermentación intensa con participación de hongos y bacterias, se libera energía que origina altas temperaturas, superiores a 70° C, encontrándose activos microorganismos preferentemente termofilicos, los cuales se caracterizan por acidificar la mezcla. Se detiene este proceso si no existe la humedad adecuada. Una mala circulación del aire por exceso de agua o compactación del material, puede producir una putrefacción de la masa, lo que se evidencia por un olor agrio y la presencia de moscas.</p> <p>Al final de la etapa el pH de la materia orgánica oscila entre 3.5 y 4. De no controlarse adecuadamente la temperatura, el material a reciclar se degrada y pierde su calidad nutritiva.</p>
Aeróbica	<p>En esta fase el oxígeno es un elemento de la mayor importancia en la transformación química y física de la materia orgánica.</p> <p>A medida que avanza la fase disminuyen las temperaturas, predomina el trabajo de microorganismos mesofilicos los que se caracterizan por modificar el pH de las sustancias hasta la neutralidad, y fijar el nitrógeno lo que permite enriquecer la dieta alimenticia de la lombriz.</p>

Tabla 2-9. Proceso de descomposición de la materia orgánica en las camas de Preparación del alimento.

Para neutralizar el exceso de acidez en la descomposición del alimento, se debe incorporar a la masa carbonato de calcio molido, cenizas de madera u otro corrector básico

En un principio la capa superior de material orgánico tiene un color específico que paulatinamente va cambiando a más oscuro, de un amarillo a café oscuro. De la misma forma se aprecia el olor cambia hasta notar olor a tierra mojada, reduciéndose la altura de la cama.

Es preciso mantener una cierta humedad en las camas de alimento de la Lombriz, ésta debe ser de 75%. Para ello se controla dicho factor y el riego debe efectuarse con aspersores.

Además cabe mencionar que es preciso realizar un volteo del material para airearlo y descompactarlo. En la Figura 2-27 se observa un Lombifiltro provisto de aspersores y aireadores.

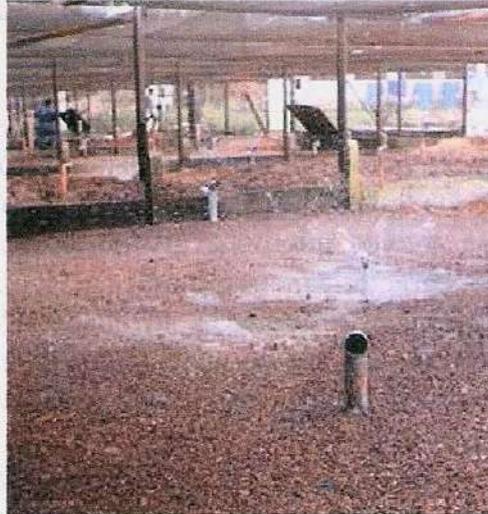


Figura 2-27. Lombrifiltro provisto de aireadores y aspersores.

2.11.8.3.3. Beneficios del humus

Como señala A.V.F. (2005) las lombrices de tierra tienen una capacidad de formación de humus considerable. El sistema digestivo es su principal adaptación evolutiva que le permite sobrevivir con escasa cantidad de nutrientes. Cuando son ingeridos por la boca, los residuos vegetales y animales, bacterias vivas y muertas, lo mismo que partículas minerales de suelo, son molidos y mezclados en su estómago muscular para ser digeridos por secreciones gástricas e intestinales como a la presencia de una nutrida flora bacteriana. Luego de la digestión, se produce la expulsión de los residuos no digeridos, pero sí transformados en una mezcla íntima química y físicamente homogénea, de fina materia orgánica e inorgánica. A estas excretas se les denomina "humus de lombriz" y poseen un elevado valor fertilizante.

2.11.8.4. *Biofiltro del sistema TOHÁ.*

Las plantas de biofiltro, son sistemas que contienen diferentes estratos filtrantes. En el estrato superior se encuentra alojadas lombrices y bacterias, las cuales efectúan una degradación de los residuos sólidos y líquidos orgánicos.

El Biofiltro Dinámico-Aeróbico es uno de los tantos biofiltros para tratamientos de aguas residuales, pero a diferencia de otros éste funciona con lombrices que son las que lo hacen ser dinámico y aeróbico por el comportamiento de este conjunto de especies, es decir lombriz (que está en constante movimiento) y microorganismos (en su mayoría aeróbicos) que lo constituyen.

El lombrifiltro, también llamado así, está compuesto por capas en forma descendente, una donde habita la lombriz y permanece el humus producido por ésta hasta ser sacado, luego viene el aserrín y viruta, otra de gravilla y una última de bolones.

El Biofiltro o Sistema Tohá es un sistema de tratamiento de la familia de los percoladores, el cual está compuesto por un estanque relleno con distintas capas filtrantes, teniendo en su parte superior lombrices. Consiste básicamente en repartir homogéneamente el afluente, a través de un sistema de aspersión con el fin de que el



agua residual sea degradada por la población de lombrices antes mencionadas y por microorganismos adheridos al medio filtrante. Dicha materia orgánica es absorbida sobre la película biológica, en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos aeróbicos y los microorganismos anaeróbicos de las capas interiores del filtro. La capa filtrante inferior de este estanque funciona como un filtro percolador de baja tasa y los microorganismos adheridos a este medio son aeróbicos, ya que el Biofiltro posee en su parte inferior un doble fondo, que permite una rápida evacuación del agua tratada y también una oxigenación por la parte inferior del sistema.

Transformando la materia orgánica en humus, requiere que el afluente llegue con características tales que permita la existencia de organismos vivos, es decir un pH que no varíe de los valores de 6.0 y 8.5.

2.11.8.4.1. Eficiencias esperadas y caracterización del efluente tratado

Del proceso de descontaminación de los residuos líquidos que se hicieron pasar a través del lombrifiltro donde reduce la carga orgánica del afluente y mediante los rayos U.V. que eliminan los microorganismos patógenos casi en su totalidad, conjuntamente a la salida del proceso de tratamiento, se logra un agua transparente e inodora, apta para riego. Se obtiene como resultado la reducción de los parámetros que se ven la Tabla 2-10.

Parámetros	Eficiencia
Coliformes fecales	99%
DBO5	95%
Sólidos Totales	95%
Sólidos suspendidos volátiles	93%
Nitrógeno Total.	60 a 80%
Aceite y Grasas	80%
Fósforo Total	60 a 70%

Tabla 2-10. Índices de eficiencia.

2.11.8.4.2. Cámara de radiación U.V.

El Biofiltro o Sistema Tohá elimina la materia orgánica pero no los microorganismos patógenos, por lo que se debe instalar una unidad de desinfección por medio radiación Ultravioleta, método que ya ha sido explicado en este marco teórico. [Tesis: "Anteproyecto de construcción para aplicación de lombricultura al tratamiento de planta Llau-Llao de salmonera Invertec S.A.". Universidad Austral de Chile].

2.12. Tratamientos de los residuos sólidos

El suelo, el agua y el aire son los grandes receptores de los residuos producidos por el hombre, los animales y la naturaleza. El hombre tradicionalmente ha resuelto el problema y ha alejado los residuos de su vista, arrojándolos en lo que hoy se conoce



como basurales. El crecimiento de la población y la expansión urbana cerca de estos basurales constituye un riesgo para la salud por la existencia de insectos, roedores y malos olores.

Antiguamente, la evacuación de los residuos humanos y otros no planteaba un problema significativo puesto que la población era pequeña y la cantidad de terreno disponible para la asimilación de residuos era grande.

Los problemas de evacuación de residuos ocurren desde que los seres humanos comenzaron a congregarse en tribus, aldeas y comunidades, y la acumulación de éstos llegó a ser una consecuencia de la vida. El hecho de arrojar comida y otros residuos sólidos en las ciudades medievales (práctica de tirar los residuos a las calles, carreteras y terrenos baldíos) llevó a la reproducción de ratas y pulgas, portando éstos la peste bubónica. La falta de un plan para la gestión de los residuos sólidos llevó a epidemias, plagas y a la Muerte Negra que mató a la mitad de los europeos del siglo XIX y causó muchas epidemias subsiguientes con altos índices de mortalidad.

Por ello, algunas sociedades trataron de solucionar sus problemas de una manera más adecuada, por ejemplo, en cuanto a la disposición final reemplazaron los basurales por otros métodos más sanitarios, aún así la solución del problema era aislada.

La magnitud de la problemática actual es grande y tiende a aumentar, es imperativo dar solución a las 180 000 toneladas diarias o más de basura que produce América Latina. La problemática de la disposición de residuos en el suelo debe estudiarse desde algunos puntos de vista que son a su vez causa del problema:

- El aumento de la población produce mayor cantidad de residuos
- El desarrollo aumenta la producción per cápita de residuos sólidos
- La producción de residuos por habitante es directamente proporcional al tamaño de las ciudades
- La mayor o menor degradación de los residuos sólidos está en relación al desarrollo de las ciudades.

La solución al manejo inadecuado de los residuos debe ser integral y deberá involucrar la generación, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, procesamiento o tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, de manera de armonizar con los principios de la salud pública, de la economía, de la conservación, de la estética y de otras consideraciones ambientales que respondan a las expectativas públicas.

Las soluciones implican relaciones interdisciplinarias complejas entre la política, el urbanismo, la planificación, la economía, la sociología, la salud pública, las comunicaciones y la conservación, entre otros.

Cuando los elementos funcionales se evalúan para su uso y todos los contactos y conexiones entre elementos se agrupan para una mayor eficiencia y rentabilidad, entonces la comunidad desarrolla un sistema integral de gestión de residuos sólidos.

Dentro de este contexto la gestión integral de residuos sólidos puede ser definida como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión idóneos para



lograr metas y objetivos específicos de gestión de residuos. [Aportes al manejo del ambiente para una salud de calidad en el Perú; "Manejo integral de residuos sólidos" Álvaro Conlanhed; Leandro SancJoval]

2.12.1. Definición de residuos y generación

Los residuos sólidos son todos aquellos materiales sólidos y semisólidos procedentes de las actividades del hombre que se desechan por carecer de suficiente valor para retenerlos. Esta definición va asociada con la generación, ya que ésta abarca la actividad en donde los materiales son declarados como residuos sin valor adicional y son desechados para su evacuación.

La generación de residuos es actualmente una actividad poco controlable, pero se espera que en el futuro se ejerza un mayor control sobre ellos.

La reducción en el origen, aunque no está controlado por los generadores de residuos sólidos, está incluida en las evaluaciones del sistema como un método para limitar las cantidades de residuos generados. [Aportes al manejo del ambiente para una salud de calidad en el Perú; "Manejo integral de residuos sólidos" Álvaro Conlanhed; Leandro SancJoval]

2.12.2. Disposición final

La basura producida por una comunidad resulta uno de los problemas más complejos por las incidencias que tienen sobre la salud de la población y el deterioro general del ambiente.

La mayor parte de las ciudades latinoamericanas acostumbra a depositar los desechos recolectados a la intemperie, alejados del perímetro urbano, convirtiéndose así en basurales a cielo abierto que son albergue y fuente de alimento para insectos y roedores identificados como transmisores de múltiples enfermedades al hombre y a los animales domésticos. Por otro lado, la quema de basura emite humos, gases y polvos que contaminan el aire y causan molestias a los habitantes de pueblos aledaños.

A continuación se presentan tipos de disposición de residuos sólidos, siendo el único aceptable, el relleno sanitario por no crear molestias ni peligros a la salud pública:

- Relleno sanitario
- Vertido al río o mar
- Alimentación para animales (cerdos, ganados, etc.)
- Vertedero a cielo abierto
- Quema al aire libre

El relleno sanitario es el sistema empleado para la disposición final de los residuos sólidos en tierra; los desechos son compactados, descargados y esparcidos en un frente de trabajo inclinado, de tamaño mínimo, hasta formar una serie de celdas que se cubren diariamente con tierra para que no impliquen ningún riesgo o detrimento al ambiente.

A continuación se indican algunos de los principales métodos de disposición:



- Área: Se emplea cuando la ubicación del terreno destinado para relleno es una depresión natural o artificial del terreno.
- Método de trinchera: La técnica empleada en este sistema es el más adecuado, sobretodo cuando el sitio seleccionado es razonablemente llano y su suelo facilita la excavación. Es importante prevenir la contaminación del manto freático del agua.
- Método combinado: Combinación de los dos métodos descritos anteriormente.

[Aportes al manejo del ambiente para una salud de calidad en el Perú; "Manejo integral de residuos sólidos" Álvaro Conlanhed; Leandro SancJoval]

2.12.3. Efectos de la inadecuada gestión de residuos sólidos

Existen distintos factores en la disposición de los residuos que repercuten de manera negativa. A continuación se detallan las más importantes.

2.12.3.1. Riesgos para la salud

La importancia de los residuos sólidos como causa directa de enfermedades no está bien determinada; sin embargo, se les atribuye una incidencia en la transmisión de algunas de ellas, al lado de otros factores, principalmente por vías indirectas.

Para comprender con mayor claridad sus efectos en la salud de las personas, es necesario distinguir entre los riesgos directos y los riesgos indirectos que provocan.
[CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005]

2.12.3.2. Riesgos directos

Son los ocasionados por el contacto directo con la basura, por la costumbre de la población de mezclar los residuos con materiales peligrosos tales como:

- vidrios rotos
- metales
- jeringas
- hojas de afeitar
- excrementos de origen humano o animal
- residuos infecciosos de establecimientos hospitalarios y sustancias de la industria, los cuales pueden causar lesiones a los operarios de recolección de basura.

[CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005]

2.12.3.3. Riesgos indirectos

El riesgo indirecto más importante se refiere a la proliferación de animales, portadores de microorganismos que transmiten enfermedades a toda la población, conocidos como vectores. Estos vectores son, entre otros, moscas,



mosquitos, ratas y cucarachas que, además de alimento, encuentran en los residuos sólidos un ambiente favorable para su reproducción, lo que se convierte en un caldo de cultivo para la transmisión de enfermedades, desde simples diarreas hasta cuadros severos de tifoidea u otras dolencias de mayor gravedad. [CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005]

2.12.4. Efectos en el ambiente

El efecto ambiental más obvio del manejo inadecuado de los residuos sólidos lo constituye el deterioro estético de las ciudades, así como del paisaje natural, tanto urbano como rural. La degradación del paisaje natural, ocasionada por la basura arrojada sin ningún control, va en aumento; es cada vez más común observar basurales a cielo abierto o basura amontonada en cualquier lugar. [CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005]

2.12.4.1. Contaminación del agua

El efecto ambiental más serio pero menos reconocido es la contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, por el vertimiento de basura a ríos y arroyos, así como por el líquido percolado (lixiviado), producto de la descomposición de los residuos sólidos en los basurales a cielo abierto.

Es necesario llamar la atención respecto a la contaminación de las aguas subterráneas, conocidas como mantos freáticos o acuíferos, puesto que son fuentes de agua de poblaciones enteras. Las fuentes contaminadas implican consecuencias para la salud pública cuando no se tratan debidamente y grandes gastos de potabilización.

La descarga de residuos sólidos a las corrientes de agua incrementa la carga orgánica que disminuye el oxígeno disuelto, aumenta los nutrientes que propician el desarrollo de algas y dan lugar a la eutrofización, causa la muerte de peces, genera malos olores y deteriora la belleza natural de este recurso. Por tal motivo, en muchas regiones las corrientes de agua han dejado de ser fuente de abastecimiento para el consumo humano o de recreación de sus habitantes (Figura 2-28). [CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005]

FACULTAD REGIONAL CONCEPCION DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
MONUMENTO HISTORICO NACIONAL

TEL/FAX: (03442) 425541 / 423803
Ing. PEREYRA 676 - 3320ABTD - CONCEPCION DEL URUGUAY
ENTRE RIOS - REP. ARGENTINA

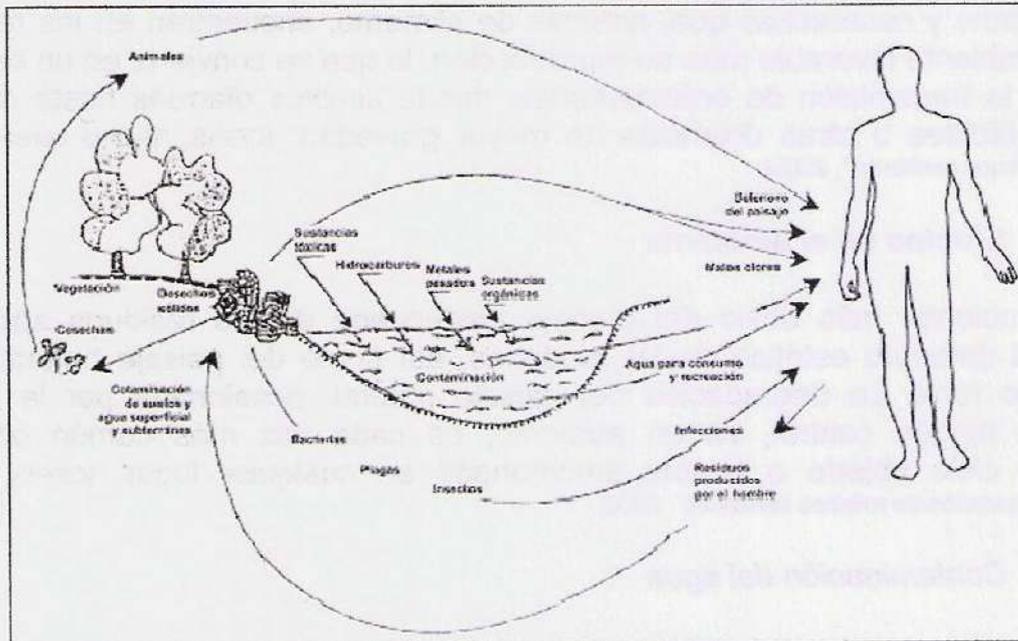


Figura 2-28. Contaminación y usos del agua.

2.12.4.2. Contaminación del suelo

Otro efecto negativo fácilmente reconocible es el deterioro estético de los pueblos y ciudades, con la consecuente desvalorización, tanto de los terrenos donde se localizan los basurales como de las áreas vecinas, por el abandono y la acumulación de basura.

Además, la contaminación o el envenenamiento de los suelos es otro de los perjuicios de dichos basurales, debido a las descargas de sustancias tóxicas y a la falta de control por parte de la autoridad ambiental. [CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005]

2.12.4.3. Contaminación del aire

Los residuos sólidos abandonados en los basurales a cielo abierto deterioran la calidad del aire que respiramos, tanto localmente como en los alrededores, a causa de las quemaduras y los humos, que reducen la visibilidad, y del polvo que levanta el viento en los periodos secos, ya que puede transportar a otros lugares microorganismos nocivos que producen infecciones respiratorias e irritaciones nasales y de los ojos, además de las molestias que dan los olores pestilentes. [CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005]

2.12.5. Rellenos sanitarios

Una posible solución a la gran cantidad de desechos producidos por el hombre son los rellenos sanitarios. Este sistema no es un vertedero de basura a cielo abierto, tampoco un enterramiento de desechos, mucho menos una incineración controlada. El relleno sanitario es un método de disposición final, que confina los desechos en un área lo más estrecha posible, los cubre con capas de tierra y compacta diariamente para reducir drásticamente y significativamente su volumen. El Centro de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (Cepis) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) lo declaran como el método de disposición final por excelencia, aquel que no representa ningún



riesgo para la salud de la población. El único admisible, ya que minimiza la contaminación y el impacto negativo en el ambiente.

Este método consiste en transportar los residuos a una zona de tierra arcillosa e inundable y taponarlos con una capa de tierra. Se necesita que la tierra sea arcillosa, porque si la tierra fuere permeable no evitaría el drenaje de líquidos - como la lluvia - arrastrando sustancias perjudiciales hacia las capas freáticas. De esta manera se contaminarían parte del agua potable - las aguas subterráneas representan más de la mitad.

En un manto arcilloso, el agua tarda 20 años en atravesar 1 m. de arcilla. Quizás la tranquilidad por nuestra salud y el cuidado del medio ambiente, que esto nos produce sea un poco irresponsable; ya que le dejamos un futuro problema a la próxima generación. Si no hubiese arcilla, el gobierno debe disponer de capas de polietileno como aislante, antes de colocar los desechos.

Apenas se ubica la tierra, se la tapa con 15 cm. de tierra, sin la cual millones de cucarachas penetrarían en los residuos. De esta manera, sólo las bacterias necesarias logran la descomposición.

Durante el proceso de putrefacción, la temperatura llega hasta 80°C y se producen grandes proporciones de gas metano, que tiende a combustión. Por ello, es muy importante que se ubiquen tubos, en el interior de la Tierra para que este gas se libere y no explote a esas temperaturas. Otro control obligatorio es para el agua de las capas subterráneas. Al gas se lo puede usar tanto como biogás, como combustible para transportes y como gas domiciliario.

Los residuos retienen aproximadamente 250 litros de agua por m². El terreno baja un 20% a medida que se asientan y se descomponen los desechos. Una vez que los residuos llenaron el cupo inundable - lo normal es 6 m- se deben esperar 10 años para forestar la zona y para poder edificar hay que esperar 20 años.

Deben optimizarse los procesos, y minimizarse los volúmenes generados de residuos, el reciclado, el reuso de los residuos y el intercambio de desechos entre fábricas. Es indudable que el mantenimiento de un ambiente que permita proporcionar a la población una calidad de vida digna y saludable tiene un costo elevado, pero el gasto que esto conlleva, siempre será menor que el costo de poner en peligro el medio y la salud de la población. [www.ecoportail.net; Cristian Frers, Técnico Superior en Gestión Ambiental]

2.12.6. Diferencias entre basureros a cielo abierto y rellenos sanitarios

Se presenta a continuación una tabla comparativa entre los sistemas de disposición a cielo abierto (basurales) y rellenos sanitarios. Esta tabla intenta reflejar, a modo de conclusión, las ventajas que presenta el último sistema nombrado.



Basurero a Cielo Abierto	Relleno Sanitario
No existe planeación que anteceda a la utilización del sitio de disposición final.	Es un proyecto de ingeniería basado en las normas oficiales argentinas vigentes en la materia.
No existen obras de control	Obras de control sistema captación de lixiviados: drenos captadores, cárcamo receptor, fosa de aireación y sistema de rebombeo. Sistema de captación de biogás: pozos de absorción de biogás. Drenajes perimetrales. Cercado perimetral. Barrera de amortiguamiento.
Equipamiento deficiente o nulo.	Equipamiento especializado. Camino de acceso. Caseta de control. Báscula de pesaje. Cargadores de oruga. Compactadores.
Posible contaminación del manto freático por lixiviados	Seguridad en la calidad de los mantos freáticos
Proliferación de fauna nociva (ratas, moscas, etc.)	No existe fauna nociva
Incendios permanentes	Se carece de incendios

Tabla 2-11. Diferencias entre rellenos sanitarios y basureros a cielo abierto.



Capítulo 3. Caracterización del sistema de tratamiento de efluentes cloacales de la ciudad de Gualeguaychú

La ciudad de Gualeguaychú es una de las ciudades de mas población de la Provincia de Entre Ríos y además uno de los principales polos turísticos e industriales.

3.1. Características de la ciudad de emplazamiento

En ésta sección se presentan características de índole social, económica y físicas de la ciudad de emplazamiento.

3.1.1. Ubicación geográfica.

Gualeguaychú es una de las ciudades más importantes de la provincia de Entre Ríos, está ubicada a $-32^{\circ} 30'$ de latitud y $-58^{\circ} 33'$ de longitud. Se encuentra emplazada a orillas del Río Gualeguaychú, principal afluente del Río Uruguay, al sur de la provincia de Entre Ríos, a 230 km de Buenos Aires y a 30 km de la República Oriental del Uruguay. Se puede acceder desde diferentes puntos del país utilizando las Rutas Nac. N° 12, 14 y 136. Desde Uruguay se logra llegar a través del Puente Internacional Libertador San Martín, que une a la ciudad con la localidad de Fray Bentos del vecino país.

3.1.2. Relieve.

Gualeguaychú cuenta con un atractivo paisaje litoraleño, con un relieve caracterizado por colinas de escasa altura, 60 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con una zona de amplias costas sobre el Río Gualeguaychú y sobre el río Uruguay, más al sur de la ciudad.

3.1.3. Clima.

El clima de la región pertenece a la categoría de templado pampeano, con una temperatura promedio de $18^{\circ} C$, con máximas de $32^{\circ} C$ en época estival y mínimas de $5^{\circ} C$ durante el período invernal.

3.1.4. Flora Y Fauna.

La flora de esta zona se caracteriza por abundantes bosques en galería, pajonales palustres y ñandubayes. En los suelos arcillosos de la rivera se pueden ver bosques fluviales, y en los suelos arenosos altos abundan las comunidades de espinillos. Los bancos de arenas y pajonales sirven de refugio a numerosas aves, existiendo más de 130 especies.

3.1.5. Población.

En la Tabla 3-1, según datos del último censo nacional realizado por INDEC en el año 2001, se puede observar la cantidad de habitantes de la ciudad Gualeguaychú.



Localidad	2001		
	Total	Varones	Mujeres
Gualeguaychú	74164	35726	38438

Tabla 3-1. Datos del censo 2001 del INDEC para Gualeguaychú.

3.1.6. Actividades económicas e industriales.

Una de las principales actividades económicas de Gualeguaychú es el turismo, a partir del denominado "Carnaval del País", que se desarrolla anualmente en un marco de suntuosidad y esplendor, concitando la atracción de visitantes de toda Argentina y del exterior.

Pero, también es una región con numerosos establecimientos ganaderos, importantes instalaciones de tambos y emprendimientos avícolas. Los principales cultivos en la zona norte y centro del departamento son el arroz y el maíz, y en menor medida el sorgo. Otra actividad con desarrollo considerable es la horticultura bajo cubierta y al aire libre. A orillas del arroyo Gualeyán, se desarrolla la cría de cabras que tiene como mercado interno los exclusivos restaurantes de Recoleta y Puerto Madero, apareciendo también como potenciales mercados: Marruecos, Alemania, España, Francia, Japón y Arabia Saudita.

El parque industrial, es otra actividad que se destaca. Su organización interna y su eficiente funcionamiento, le ha otorgado un merecido prestigio, traducido en la radicación de nuevos emprendimientos fabriles. Alentado por su estratégica ubicación geográfica, en el camino a los países del Mercosur, es la concreción más importante y trascendente de la Corporación del Desarrollo de Gualeguaychú. En el lugar funcionan fábricas de detergente, de silicatos, secado de madera, reciclado de papel y plásticos y pastillas potabilizadoras de agua, maquinarias agrícolas, entre otras.

3.1.7. Características hidrográficas.

La ciudad de Gualeguaychú se encuentra a la vera del río del mismo nombre, sobre el cual aporta una cuenca de unos 6.040 km²; presenta una red hidrográfica dendrítica de una alta densidad de drenaje. El índice de compacidad de la cuenca es de 1,52 lo que indica una forma alargada, como se puede ver en la Figura 3-1.

El curso principal tiene una orientación general aproximadamente en el sentido norte sur. Su Longitud total es de unos 180 km. y la pendiente media ponderada es de 0,00024; con valores que varían entre 0,00094 en las nacientes y 0,00003 en su desembocadura.

El curso se desarrolla próximo al límite este de su cuenca, con áreas de aporte de mayor superficie sobre margen derecha. Es desde esta margen que el río Gualeguaychú recibe el aporte de los principales afluentes de régimen permanente, que en una secuencia de norte a sur son los siguientes AP San Miguel, A° Santa Rosa, AP Gená, AP San Antonio, A° El Gato y A° Gualeyán. Las pendientes medias ponderadas, las longitudinales y las áreas de drenaje de estos cursos se pueden apreciar en la Tabla 3-2.

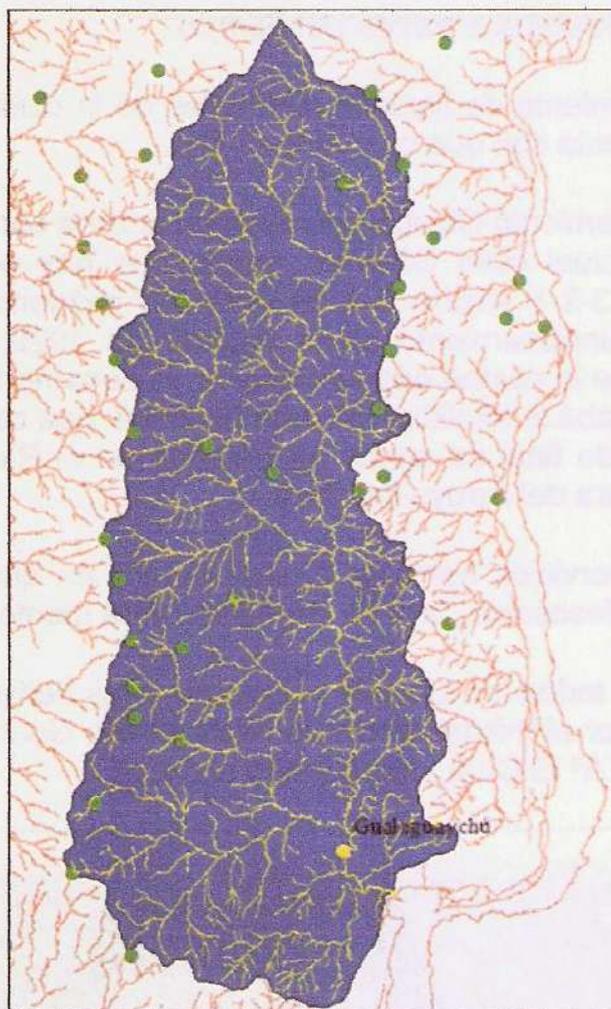


Figura 3-1. Hidrografía de la provincia de Entre Ríos

Arroyo	Pendiente	Longitud [Km.]	Área de Drenaje [Km ²]
San Miguel	0,00059	33,8	289
Santa Rosa	0,00064	52,3	513
Gená	0,00053	71,3	1313
San Antonio	0,00098	30,4	214
El Gato	0,00087	45,4	541
Gualeyán	0,00069	56,4	1240

Tabla 3-2. Arroyos afluentes al río Gualeguaychú y sus características

Sobre la margen izquierda, el río Gualeguaychú recibe aportes de arroyos de menor jerarquía, de régimen temporal efímero, de hasta unos 15 Km. de longitud y pendientes del orden de 0.001.

3.2. Antecedentes del tratamiento de aguas residuales

En esta sección se presenta la historia del camino que recorrió la ciudad en busca de lo que hoy es la planta de tratamientos.



3.2.1. Registro de tratamientos a través del tiempo

La actual planta de tratamiento de líquidos residuales de la ciudad de Gualeguaychú, se trata de la segunda planta con que cuenta la ciudad.

La primera planta de Tratamiento Cloacal conocida en la zona sur como "la depuración" estuvo ubicada en la actual calle Güemes, predio que hoy ocupa el polideportivo municipal, en la Figura 3-2 y Figura 3-3 se aprecian imágenes de la misma. Fue montada y puesta en funcionamiento en la década de 1920, junto con la Planta Potabilizadora de Agua de la ciudad que funciona en la zona norte (2 de abril y Puerto Argentino) y recibía y trataba la totalidad del área histórica que contaba con servicio de cloacas y tenía su volcado final de aguas ya tratadas en el Río Gualeguaychú, a la altura de la desembocadura del Arroyo del Cura.

La "depuración" presto servicios hasta la década del 70 en que le fue realizado un ByPass debido a su obsolescencia, falta de capacidad y de mantenimiento.

A partir de ese momento todos los efluentes cloacales eran derivados crudos (es decir sin tratamiento alguno) por el mismo conducto hasta el Río Gualeguaychú, en la zona de la desembocadura del A° El Cura, degradando el río.

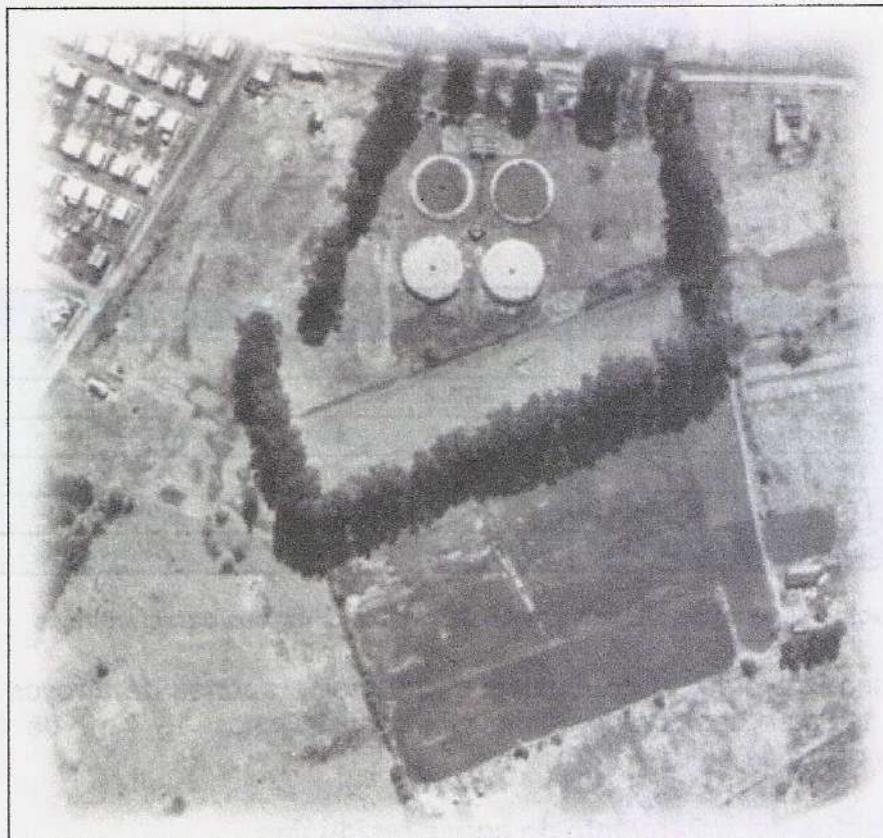


Figura 3-2. Vista aérea de la 1ra. Planta de tratamiento de Gualeguaychú.



Figura 3-3. Vista de la primera planta de tratamiento de Gualeguaychú

A principio de la década del 90, se adquiere el predio de Presidente Perón al sur (en el que hoy se encuentra emplazada la Planta) y se inician los proyectos. De esa época son también las polémicas a cerca del mejor sistema de tratamiento.

La ciudad seguía creciendo, y acompañando ese crecimiento, las extensiones de la red cloacal aumentaban el flujo de líquido a tratar.

Se iniciaron las obras de movimiento de suelos; como se ve en la Figura 3-4, que luego, a la espera de mejor financiamiento, fueron detenidas.

En Octubre de 1997, llega a esta parte del continente el fenómeno conocido como "El Niño", que es un fenómeno meteorológico que produjo el incremento de precipitaciones, por sobre la media esperable anual, con la consecuencia que en Octubre y Diciembre de 1997, Enero, Febrero, Marzo y Mayo de 1998 fueron meses en los que ocurrieron los desbordes históricamente más grandes del río, alcanzando los 4,20 m. de altura cubriendo por mucho tiempo la cañería de descarga cloacal al río. Esta, terminó colapsando y vertiendo todo su contenido a la superficie en distintos predios públicos y privados de la zona. En la Figura 3-5 se la zona inundada.

El municipio nuevamente se equipó y retomó las tareas de construcción, del ya nuevo proyecto.

Se efectuaron nuevos estudios y nuevas mediciones cuantitativas y cualitativas del líquido de la ciudad a efectos de contar con datos exactos que permitieran un buen diseño.



Figura 3-4. Inicio de los movimientos de suelo

Los movimientos de suelo marcaron nuevamente el reinicio de las obras para alcanzar el anhelado objetivo.

El colapso de la cañería “maestra” que llevaba los efluentes al río, obligó a la apertura de un canal de desvío de esta agua, que ahora eran vertidas a la Cañada de las Achiras y luego de recorrer 400 metros fluyen al arroyo El Cura 1200 metros antes de la desembocadura. El arroyo El Cura sufre así una degradación muy importante en su calidad de agua, observándose como efecto inmediato que los cardúmenes que ingresaban en él dejaban de hacerlo, y comenzaba a inundarse la ciudad del típico olor de esta clase de efluentes.

Las obras siguieron pero los montos a invertir se escaparon de los presupuestos. Todos los intendentes realizaron innumerables gestiones a efectos de obtener recursos.

Luego, a través del ENOHSA, Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento, se obtiene el acompañamiento financiero necesario para la culminación y puesta en marcha de la obra. Se llama a licitación la construcción de la obra civil y la provisión del equipamiento resultando adjudicataria una empresa local.

Los acontecimientos sociales y económicos de los años 2001 y 2002 a nivel nacional, impidieron la continuidad de las obras. Muchos vaivenes y renegociaciones fueron necesarios para poder armonizar intereses y posibilidades en función del nuevo orden económico interno.



Figura 3-5. Inundaciones de la zona producto de la llamada Corriente del Niño

Pero llegado el año 2003 se retomaron las obras, lo que permitió terminar los movimientos de suelo, y dio paso a las obras civiles, como se ve en la Figura 3-6, la cual muestra la colocación de la membrana en las piletas.

Se finalizó la obra civil, se procedió a la prueba e instalación del equipamiento electromecánico y se comenzó con la tarea de desviar los líquidos cloacales que se vertían al arroyo El Cura, hacia la nueva planta de tratamiento. Estas tareas de "llenado" de la planta y el inicio de su puesta en marcha se realizaron entre el 20 y el 23 de abril de 2005.

A partir de que los efluentes cloacales son tratados, ingresan diariamente a la planta alrededor de quince millones de litros de aguas negras, que son tratadas y devueltas al arroyo El Cura, con la evidente mejora de la calidad de sus aguas.

3.3. Sistema actual de tratamiento

Se detallan en lo que sigue las características propias de la planta de tratamiento en lo que respecta a su emplazamiento, objetivo, parámetros adoptados para su calculo. Concluyendo la sección con detallada descripción del sistema de tratamiento adoptado

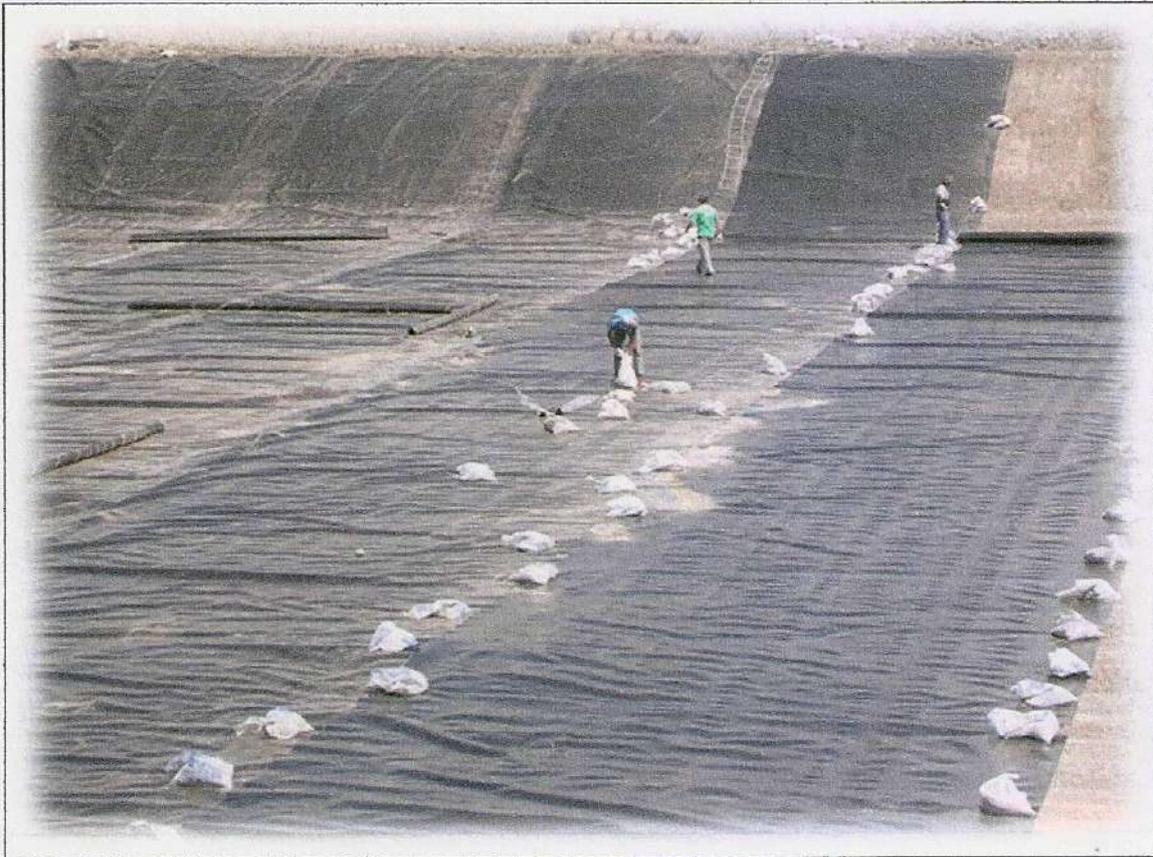


Figura 3-6. Colocación de la membrana impermeabilizante en una de las piletas.

3.3.1. Objetivos de la planta

El objetivo principal de esta planta de tratamiento es disminuir la problemática de contaminación ambiental generada por aguas residuales domiciliarias de la ciudad de Gualeguaychú, de manera que antes de ser vertidas a la masa receptora (el río Gualeguaychú), como era en un principio, reciban un tratamiento adecuado capaz de mejorar sus condiciones físicas, químicas, y microbiológicas, al limite de evitar que su disposición final provoque problemas graves de contaminación en el cuerpo de agua receptor.

3.3.2. Ubicación

La Planta de Tratamiento Cloacal de la ciudad de Gualeguaychú se encuentra ubicada en calle Presidente Perón al Sur.

El emplazamiento de la planta de tratamiento se efectuó en terrenos situados al sur de calle Tropas, teniendo en cuenta para su elección la superficie, distancia a núcleos poblados y ubicación con respecto a cloaca máxima y punto de descarga. En las Figura 3-7 y Figura 3-8 se pueden apreciar la vista aérea de la planta en construcción y una vez terminada correspondientemente.



Figura 3-7. Vista aérea de las lagunas antes de su puesta en marcha



Figura 3-8. Vista aérea de la planta terminada.

Las características del terreno elegido son:

- Superficie aproximada: 22 Ha.
- Localización sobre traza de la cloaca máxima.
- Distancia a núcleo poblado más cercano de 1.000 m.
- Posibilidad de descarga de efluente final tratado a arroyo lindero al oeste.



3.3.3. Análisis poblacional y de diseño

Se presentan aquí las proyecciones demográficas de la ciudad de gualguaychu, y análisis de caudales.

3.3.3.1. Población

La planta de tratamiento de aguas residuales fue diseñada para una población de 112.000 habitantes servidos por la red de colectoras de desagües cloacales, que es la población a futuro estimada a 20 años de la puesta en funcionamiento de la planta, como puede verse en la Tabla 3-3.

Para la proyección de la población se tomaron los datos del INDEC del año 1991, siendo la tasa de crecimiento de la población entre los años 80 y 91 del 2% anual.

Se proyectó la población a 20 años mediante el método de la Tasa Decreciente.

Año	Población Total	Población Servida	% Cobertura
2001	79142	57750	73%
2011	96474	82003	85%
2021	117600	111720	90%

Tabla 3-3. Población y porcentaje de cobertura en servicio de cloacas domiciliarias.

La población servida al momento de realizar el cálculo resultó de las conexiones de ese momento considerando 4,31 habitantes por viviendas. (Este último dato del INDEC para 1991).

Se aumentó la cobertura de 73% al 90% al final del período, debido al crecimiento del servicio de los últimos años y a que en el momento de generar el proyecto se estaba construyendo el colector Oeste.

3.3.3.2. Dotaciones de proyección

Según mediciones de Obras Sanitarias, la producción de agua para 16.653 conexiones fue de 5.061.536 m³. Se adoptó una pérdida en el sistema de un 20% resultando un volumen anual entregado de 4.049.229 m³. De esta manera resultó un consumo anual promedio por conexión de 243 m³ o bien 0,666 m³/día.

Tomando 3,41 habitantes por vivienda resultó una dotación de agua promedio de 195,4 l/hab día.

Se efectuaron mediciones en la descarga del colector por personal Municipal, superando estos valores, ya que se midieron caudales de 13.271 m³/día, resultando una dotación cloacal de 234 litros/hab día.

A los efectos del dimensionado de la planta se adoptó una dotación cloacal al inicio del período de 230 l/hab.día y a los diez años y final del periodo de diseño se adopta una dotación cloacal de diseño de 210 litros/hab.día.

3.3.3.3. Coeficientes para caudales.

Se adoptaron los coeficientes fijados por la norma del ENOHSa y de acuerdo a los indicados en la Tabla 3-4 de resumen.

Año	Población	Dotación (l/hab. Día)	Coeficientes	Caudales	Unidades
Inicial	57750	230	0,70	Q_B	m^3/d
			1,00	Q_C	m^3/d
			1,40	Q_D	m^3/d
			1,70	Q_E	m^3/h
A los 10 años	81500	52,3	0,70	Q_B	m^3/d
			1,00	Q_C	m^3/d
			1,30	Q_D	m^3/d
			1,50	Q_E	m^3/h
A los 20 años	112000	71,3	0,70	Q_B	m^3/d
			1,00	Q_C	m^3/d
			1,30	Q_D	m^3/d
			1,50	Q_E	m^3/h

Tabla 3-4. Tabla de resumen de caudales.

Q_B = Caudal mínimo diario.

Q_C = Caudal medio diario.

Q_D = Caudal medio del día de máxima demanda.

Q_E = Caudal pico del día de máxima demanda.

3.3.4. Justificación del proceso elegido

Las lagunas de estabilización aireadas se adoptaron como sistema para el tratamiento de las aguas residuales de la Ciudad por los motivos siguientes:

- Menor costo total por habitante servido y por unidad de volumen tratado
- Menor costo de inversión junto con el de operación y mantenimiento, en relación a las alternativas de barros activados y de lechos percoladores, que son otras variantes de tratamiento biológico que se consideraron.
- No se requiere personal especialmente calificado para el mantenimiento y la operación.
- Altos rendimientos en eliminación de contaminantes orgánicos y sólidos en suspensión.
- Absorbe fácilmente las variaciones de carga debido al efecto regulador de las lagunas.



3.3.5. Sistema de tratamiento elegido

No todas las plantas son iguales en su diseño, construcción y operación, ya que depende de las aguas residuales a tratar y de la cantidad de población servida.

En el caso del sistema adoptado en la ciudad de Gualeguaychú, el tratamiento es un sistema combinado biológico y fisicoquímico. Está basado en la remoción de materia orgánica, tratamiento físico-químico y desinfección por la eventual presencia de organismos patógenos en el sistema.

El sistema está compuesto por los siguientes procesos:

Ingreso:

- Cámara de ByPass

Tratamiento Primario:

- Cámara de reja y bombeo
- Desarenador.

Tratamiento Secundario:

- Lagunas aireadas
- Lagunas de sedimentación

Tratamiento Terciario:

- Canaleta Parshall
- Cámara de contacto
- Sistema de desinfección y Sala de cloración

3.3.5.1. Ingreso

A través de la red cloacal local, tanto por gravedad como a través de estaciones de bombeo distribuidas por toda la ciudad, se reúne el efluente cloacal en dos grandes colectores que son el Colector Oeste y el Colector Centro, los cuales confluyen en la planta de tratamiento.

3.3.5.1.1. Cámara de ByPass

El efluente es recibido en la planta desde las cañerías de la red cloacal a través de la cámara ByPass. La función de esta cámara, es la de reunir los colectores cloacales y también los líquidos transportados por los servicios de camiones atmosféricos que retiran la carga de las cámaras sépticas o pozos negros (utilizados en los domicilios que no están aun servidos por la red cloacal).



Si el caudal de efluente es demasiado elevado, superando los 1400m³/h, que se da en caso de lluvias o debido a que existen aún conexiones antirreglamentarias de descarga de pluviales a cloaca, por diferencia de presiones se abre la compuerta del By Pass, descargando, solamente en este caso, el efluente sin tratar. Los elevados caudales hacen que la planta pierda operatividad y es por este motivo que se recurre a este procedimiento.

En condiciones normales de funcionamiento, o sea, para caudales de efluente que van desde aproximadamente los 400m³/h a los 1400m³/h (alrededor de quince millones de litros de aguas negras por día), el efluente pasa la cámara By Pass a través de una cañería de cemento de diámetro 900mm y enterrada a 2m de profundidad para ser tratado luego.

3.3.5.2. Tratamiento Primario

Este tipo de tratamientos incluye aquellas operaciones físicas de depuración primaria del efluente.

3.3.5.2.1. Cámara de reja y bombeo

Las aguas residuales que entran en una depuradora contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria.

La función de las rejas es la de retener los sólidos medianos y de gran tamaño, con el propósito de proteger a las bombas de la llegada de objetos capaces de producir obstrucción en las mismas y en las distintas unidades de la planta, además los sistemas de alcantarillados suelen recibir materiales desechados, de gran tamaño y que, de no ser detenidos oportunamente, podrían impedir la correcta operación de la planta. Una explicación más extensa de las cámaras de rejas se pueden observar en el marco teórico de este trabajo. La cámara de rejas está compuesta por tres canales.

El proceso se realiza a través de un sistema de rejas de acero inoxidable, cuya limpieza se realiza en forma manual, retirándose los sólidos que no pertenecen al sistema, separando del mismo todos aquellos elementos o materiales que no forman parte realmente del efluente, los que luego son embolsados y enterrados en trincheras en el mismo predio. Con este proceso, se han retirado en el primer año de servicio cerca de 52000 Kg (52 Tn) de materiales que flotando o hundiéndose hubiesen llegado al río. Generalmente estos materiales son de baja degradabilidad. Se observa en la Figura 3-9 la cámara de rejas y canasto de recolección de residuos.

En una segunda etapa, el efluente es elevado mediante 4 electrobombas sumergibles Marca Flygt, Figura 3-10, modelo NP3152.181 MT de 120 l/s y altura manométrica de 6,50m cada una; las que elevan desde un nivel de -2m hasta 7,50m sobre el nivel del terreno, de manera que el nivel de ingreso a las lagunas aireadas sea tal que permita el funcionamiento por gravedad de todo el sistema de tratamiento.

Desde la puesta en funcionamiento de la planta hasta el año 2006 se han elevado para procesamiento alrededor de 5.500.000 m³ de aguas negras.



Figura 3-9. Vista de la cámara de rejas y canasto de recolección de residuos.



Figura 3-10. Vista del sistema de impulsión.

3.3.5.2.2. Desarenador

En el proceso siguiente, se retiran los sólidos pesados haciendo circular el efluente cloacal a baja velocidad, permitiendo que estos sólidos precipiten y se acumulen en el fondo de la instalación construida a tal efecto. Se puede observar la forma en planta del desarenador en Figura 3-11.

La función del desarenador es la de separar del agua residual, grava, arena, partículas minerales y cualquier otra materia pesada que tenga otra velocidad de sedimentación, de esta manera se evita la acción abrasiva sobre el equipo mecánico y



se reducen las posibilidades de obstrucción de las cañerías, aquí se retienen los sólidos sedimentables (arena) que periódicamente es extraída del desarenador, lavada y usada para relleno. Las aguas del lavado vuelven al inicio del proceso.

En el primer año de servicio de la planta, se han retirado algo mas de 120m³ de arena y otros sólidos equivalente a 24 camiones volcadores cargados.

Estas cámaras están diseñadas de tal modo, que permiten, que las partículas inorgánicas de 0,2 mm o más se depositen en el fondo.

El proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO₅ y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión mientras que las partículas más pequeñas y la mayoría de los sólidos orgánicos que permanecen en suspensión continúan su recorrido.

Desde el desarenador, el líquido cloacal es transportado por gravedad hacia las lagunas aireadas, a través de cañerías de PVC de 500 mm de diámetro.



Figura 3-11. Vista del desarenador

3.3.5.3. Tratamiento Secundario

Una vez eliminados de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la DBO₅, por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua.

Por lo general, los procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos.

En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos e inorgánicos.

FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
MONUMENTO HISTÓRICO NACIONAL
TEL/FAX (09940) 425541 / 425548
ING. PEREYRA 579 - ESQUINA CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
ENTRE RÍOS - REP. ARGENTINA



La producción de materia inorgánica es un resultado del proceso de tratamiento biológico.

La materia orgánica, debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor.

3.3.5.3.1. Lagunas aireadas

La función de las lagunas aireadas, Figura 3-12, junto con las de sedimentación, Figura 3-13, es la de reducir el contenido de carga orgánica de las aguas residuales.

En el tratamiento en las lagunas aireadas se usan procesos de oxidación o estabilización biológica, que consisten en la asimilación de la materia orgánica degradable biológicamente por microorganismos, en presencia de oxígeno y nutrientes. La laguna aireada actúa como un "biofloculador", lo cual facilita la sedimentación de los sólidos en la laguna de sedimentación.

Las 2 lagunas aireadas, con una capacidad de 48000m³ cada una, cuentan con 22 aireadores mecánicos superficiales de bajas revoluciones, de 25CV de potencia cada uno, por lo cual el proceso demanda una gran potencia eléctrica.

El líquido cloacal llega a estas dos grandes lagunas de 150 m. de largo, 80 m. de ancho y 4 m. de profundidad.

Se efectuó la impermeabilización de las mismas empleando para ello geomembrana textil, de 3mm de espesor, evitándose el paso del efluente cloacal hacia las napas subterráneas.

Cada laguna, como se dijo anteriormente, está provista de 11 aireadores mecánicos superficiales de baja revolución, sustentados por flotantes, la función de estos aireadores, es la de incorporar el oxígeno necesario para la estabilización biológica y asegurar la mezcla completa del líquido (agitación / aireación), a objeto de aumentar su capacidad de tratamiento y eficiencia de remoción, evitando la generación de malos olores, manteniendo los sólidos en suspensión, tanto los entrantes como los biológicos producidos a partir del agua residual, de manera que no sedimenten en estas lagunas. Esto se logra debido a que la ascensión de las burbujas de aire hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie.

A través de cámaras de interconexión en paralelo, la mezcla pasa a las lagunas de sedimentación, donde se produce la sedimentación de los sólidos en suspensión, mejorando la calidad del efluente, clarificándose en forma natural.



Figura 3-12. Lagunas aireadas

3.3.5.3.2. Lagunas de sedimentación.

Complementando el proceso desarrollado en las lagunas aireadas mecánicamente, el líquido tratado pasa por conexiones en paralelo a dos lagunas de sedimentación, de 120 mts. de largo, 80 mts de ancho y 4 mts. de profundidad.

La función de estas lagunas es la de retener los sólidos en suspensión por sedimentación, produciéndose además la estabilización de los barros sedimentados previo a su disposición final, clarificándose los líquidos contenidos en forma natural.

La estabilización de los barros se produce en ausencia de oxígeno disuelto (anaeróticamente), los olores provenientes del proceso se controlan manteniendo una profundidad mínima del agua de un metro de barros sedimentados.

Se aprecia en estas lagunas gran desprendimiento de gas típico del proceso. Estos procesos degradativos suceden en el fondo de las lagunas donde hay anaerobiosis.

A medida que transita el efluente por estas lagunas, parte del oxígeno que posee el líquido se consume, aunque durante el tiempo en que realizo este estudio siempre se registro cierto porcentaje de oxígeno, además nunca se llevo a tal punto de percibir olores extraños que es típico cuando hay ausencia total de oxígeno.

El efluente tiene un período de retención de 3 a 5 días.

La digestión reduce el contenido en materia orgánica entre un 45 y un 60 por ciento.



Los sólidos sedimentados como barros estabilizados, deberían retirarse por succión mediante bombas, escurridos y deshidratados en una adecuada Playa de Secado de Barro, la cual fue proyectada y durante el periodo de realización de esta investigación no fue construida.

La periodicidad estimada de evacuación es bianual.



Figura 3-13. Vista de lagunas de sedimentación

3.3.5.4. Tratamiento Terciario

Los tratamientos terciarios son complementarios a los tratamientos secundarios y principalmente son utilizados para la eliminación de microorganismos patógenos.

3.3.5.4.1. Canaleta Parshall

La función de la canaleta Parshall, Figura 3-14, es la de medir los caudales tratados que salen del sistema (volumen del líquido por unidad de tiempo).

Las aguas transparentadas, a la salida de las lagunas de sedimentación pasan a través de esta, la cual funciona como una especie de Venturi, donde tiene la profundidad crítica en la sección contraída y un resalto hidráulico en la sección de salida.



Sus principales ventajas son que sólo existe una pequeña pérdida de carga a través del aforador, no necesita condiciones especiales de acceso o una fosa de amortiguación. Debido a la contracción en la garganta, la velocidad del agua que fluye a través de la canaleta es mayor que la del flujo en el canal. Por esta razón cualquier partícula de arena o limo puede ser arrastrada dejando la canaleta libre de depósitos.

Aquí también se efectuará la adición de la solución de cloro para desinfección.

No debe olvidarse que éste sistema recibe aportes cloacales, los cuales tienen una elevada carga de microorganismos patógenos, virus entéricos, bacterias coliformes que normalmente habitan el tracto digestivo humano, huevos y quistes de parásitos intestinales entre otros, constituyendo una fuente potencial de contaminación, por lo que debe evitarse todo contacto directo con los líquidos contenidos, por ende debe desinfectarse.

En éste punto, se debe realizar la adición justa de solución de cloro, por aspersion, para la desinfección del efluente previo a su descarga, asegurando la eliminación de los agentes patógenos de la materia fecal, impidiendo la contaminación del río.

La descarga deberá tener menos de 5000 bacterias coliformes totales por cada cien (100) mililitros, con el fin de cumplir con la Ley N° 6260/78 "de prevención y control de la contaminación por parte de las Industrias radicadas en la provincias de E.Ríos", y su Decreto Reglamentario N° 5837/91, modificado en el año 1996, parámetro que se exige para la descarga.

Es para destacar que el volumen de cloro debe ser preciso a fin de evitar la formación de cloraminas, lo cual provocaría un resultado directamente inverso al deseado por ser estas altamente tóxicas (cancerígenas). Por ende debe realizarse una demanda de cloro. Estudios realizados con anterioridad a la creación de este trabajo definieron que la demanda de cloro del efluente en el momento de extracción da valores comprendidos entre 1 y 2 mg/l de cloro.



Figura 3-14. Canaleta Parshall

3.3.5.4.2. Cámara de contacto.

La función de la cámara de contacto, Figura 3-15, es la de brindar la permanencia mínima del agua tratada junto con la solución de cloro, de manera de asegurar su desinfección, que es el proceso mediante el cual se destruyen los organismos causantes de enfermedades.

El líquido pasa por una cámara de contacto o laberinto la cual permite que el líquido retenido se mezcle con el cloro, se asegura una permanencia mínima de 15 minutos que es suficiente para que el líquido se desinfecte y sea devuelto a la naturaleza.

Los líquidos tratados, son vertidos al Arroyo Las Achiras, desde allí van al Arroyo El Cura y este los conduce al Río Gualeguaychú.

La salida de la cámara de contacto estará regulada por una compuerta vertedero.



Figura 3-15. Camara de contacto

3.3.5.4.3. Sistema de desinfección y Sala de Cloración.

La desinfección final del efluente se realizará mediante la adición de una solución de cloro regulada por un sistema de dosaje de gas cloro.

Este proceso es realizado por la inyección de una vena líquida en la canaleta parshall, donde se mezcla agua, con cloro que es abastecido mediante cilindros de 900 kg, Figura 3-16.

Para el almacenamiento de los cilindros de cloro y la instalación del sistema de cloración se construyó una sala de cloración y depósito cerca de la cámara de contacto.



Figura 3-16. Sala de cloración, imagen de los recipientes con el cloro.

3.4. Análisis de funcionamiento de planta.

El sistema, es de diseño y construcción simple. Sin embargo, existían dificultades a la hora de elegir correctamente el tipo de aireador y establecer correctamente el rendimiento del mismo, debido a un desconocimiento del comportamiento de los mismos para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad. Se hará una explicación más detallada sobre el tema más adelante.

El desarrollo del proceso de lagunas aireadas a marcado un avance importante en el tratamiento secundario de aguas residuales, ya que es un proceso biológico en que los organismos vivos aeróbicos y los sólidos orgánicos presentes en las aguas residuales, se mezclan íntimamente, en un medio favorable para la descomposición aeróbica de los sólidos; la eficiencia del proceso depende de que se mantenga continuamente el oxígeno disuelto durante el tratamiento.

Se podría decir que el propósito final de la planta de tratamiento es llegar a cumplir un conjunto de parámetros cuantitativos, fijados por ley, (Ley Provincial N° 6260 y su Decreto Reglamentario N° 5837/91) que permitan su descarga al ambiente receptor sin ocasionar problemas ambientales ulteriores.



3.4.1. *Análisis de calidad de agua.*

Los ensayos de calidad de agua se pueden dividir en dos ramas, divididos por el origen de los mismos.

En primer lugar se hará referencia a aquellos ensayos que se han confeccionado con anterioridad al comienzo de esta investigación, y que se han obtenido a partir de la petición efectuada a los responsables del manejo de la planta de tratamiento de Gualeguaychú, como así también por intermedio de Obras Sanitarias de dicha localidad. Vale aclarar que no ha habido participación alguna de los integrantes que suscriben este trabajo, ni en la realización de los ensayos, ni en la toma de muestras para tal fin.

En segunda instancia, se encuentran aquellos ensayos gestionados por este grupo y cuyo objetivo se encuentra directamente afectado a la cumplimentación de las cuantificaciones y cualificaciones que se quieren definir con esta investigación.

Si bien está claro que los citados en segundo lugar son los más importantes para este trabajo, pues están orientados directamente a los objetivos impuestos en este trabajo, nos pareció importante contar con la totalidad de los ensayos, debido a que estos nos darán indicios de la evolución de la planta de tratamiento con el paso del tiempo, pudiendo contrastar los datos viejos y nuevos.

3.4.1.1. *Ensayos de calidad realizados con anterioridad a la elaboración este trabajo de investigación*

Dentro de este numeral también deben hacerse distinciones. Los ensayos realizados se separan en los ejecutados para una tesis final de carrera (Licenciado en Bromatología) y los realizados por parte de Obras Sanitarias de Gualeguaychú.

Los primeros mencionados fueron hechos con una periodicidad constante y bastante mayor que los segundos. Sin embargo, en los segundos se han registrado ensayos bacteriológicos que no han sido realizados para la confección de la tesis. De aquí radica la importancia de hacer mención y trabajar sobre ambos.

- Ensayos de calidad realizados para tesis final de carrera.

Se detallan en primera instancia los resultados de ensayos realizados entre el año 2005 y 2006 en la planta de tratamiento. Estos ensayos fueron realizados en dependencias de Obras Sanitarias, a cargo de la Municipalidad de Gualeguaychú, e impulsados a partir de la creación de una tesis final de carrera de Licenciatura en Bromatología. (Autora: Villareal, Marisa Valeria)

Una de las finalidades de este trabajo, fue obtener un seguimiento estadístico, mediante parámetros físico-químicos, desde el comienzo de las operaciones del sistema de tratamiento biológico, hasta el final del proceso, bajo condiciones ambientales, analizando el efluente y comprobando su degradación a lo largo del tiempo.



Se procuró aportar datos analíticos para contribuir al mejor manejo y desarrollo operativo de dicha planta, cuyos resultados permitirá a los operarios disponer de un diagrama de valores cuánticos, a fin de realizar un óptimo sistema de trabajo y seguimiento de correcciones en la misma.

Esta investigación se realizó en función de elementos cuantitativos y cualitativos; realizándose dos muestreos semanales en cinco diferentes puntos de las lagunas de tratamiento de efluentes. Ensayos realizados por Obras Sanitarias Gualeguaychú

Los ensayos realizados por esta entidad tuvieron como finalidad el control de funcionamiento de la planta. Sin embargo, como ya se ha explicado con anterioridad, los ensayos no presentan una periodicidad constante, sino que fueron realizados de manera azarosa.

Los ensayos presentes tienen en cuenta iguales parámetros que los mencionados en el numeral anterior, agregando los bacteriológicos, referentes a Coliformes fecales y totales.

- Ensayos realizados en el marco de esta investigación

Para la correlación de datos muestrales obtenidos de análisis pasados, y la situación actual de planta, se realizó una serie de muestreos para el uso exclusivo de esta investigación, que se analizan en el capítulo 7.

3.4.2. Personal

La planta se opera con dos personas por turno, teniendo a su vez un responsable a cargo de los dos antes mencionados.

Los dos operarios se encargan por igual de las tareas a realizar en la planta, teniendo ambos igual preparación y responsabilidad en cuanto a los manejos de los distintos equipos.

Esta aparente escasez de personal se justifica en el automatismo que presenta la planta. Todos los equipos son controlados y monitoreados desde una única sala de control, Figura 3-17.

Los operarios tienen a disposición y utilizan los elementos de seguridad, que se componen de guantes, botas, barbijos, antiparras, salvavidas para la recorrida en bote de las lagunas, etc.

A todas aquellas personas afectadas al trabajo en los procesos de la planta se le han dado charlas informativas y cursos, por parte de profesionales, sobre los cuidados a tener en cuenta a la hora del manejo de ciertos materiales o fluidos tóxicos que son de utilización corriente en esta clase de tratamientos, como así también instrucciones a realizar en caso de que ocurra un accidente.

Hasta el momento no se ha registrado accidente alguno en la planta que haya involucrado ni a operarios ni a terceros.



Figura 3-17. Sala de comandos, tablero principal.

Desde el inicio de las operaciones no se han registrado problemas de salud en los empleados derivados del trabajo en la planta. Sin embargo, hay que aclarar que no existen chequeos médicos programados por parte del municipio, debiendo esto existir ya que más allá de los cuidados y sistemas de seguridad usados, se recomienda el control de los operarios afectados a planta, ya que el contacto con agentes contaminantes es permanente.

3.4.3. Problemática de su funcionamiento.

La planta de tratamiento de la ciudad de Gualaguaychú fue inaugurada en plena capacidad de operación, lo que incluye que todos los procesos estarían en capacidad de ponerse en funcionamiento. A partir de esto conviene hacer algunas consideraciones sobre el momento de su puesta en marcha y su actualidad.

3.4.3.1. Problema de operación.

Entre los principales problemas operacionales, se encuentra el consumo eléctrico, que alcanza entre 30.000 y 50.000 pesos mensuales de consumo, lo que es un presupuesto muy importante para el municipio. La contratación del servicio, garantiza el perfecto funcionamiento del sistema, hasta el momento, por contar con una línea única de suministro. Si bien existe como proyecto la instalación de los generadores de energía, e incluso la sala para el mismo esta perfectamente acondicionada, todavía no se pudo poner en funcionamiento.



Como inconveniente operacional más importante, esta la rotura de los sistemas de aireación, que según consideran los diseñadores de la planta, debería reconsiderarse, para otro diseño, utilizar sistemas de aireación rápido, ya que presentan la misma eficiencia que los utilizados, que son lentos, y que presentan más inconvenientes mecánicos que otros.

Entre los inconvenientes encontrados, esta la rotura de los motores de los aireadores, que ocurre bastante seguido, por el sobre esfuerzo que radica en la poca cantidad de ellos que se encuentran en funcionamiento. Además de esto, otro problema que presentan es la rotura de flotadores, por el constante movimiento, y las inclemencias del tiempo.

Vale aclarar, que la problemática registrada podría haberse evitado con la compra de motores de otras marcas, las cuales son mayormente reconocidas en el mercado. Sin embargo, se ha optado por la compra de equipamiento de origen brasilero, de mayor economía, pero que no han dado resultados satisfactorios.

Otro problema operacional muy grave que se encuentra es el de los desagües pluviales, que ocasiona un incremento de los caudales diarios de 160 l/h a 5000 l/h, lo que pone en evidencia que en caso de lluvias, existen muchas filtraciones de desagües pluviales que se incorporan a la red cloacal. Esto trae como principal problema que si se incorpora el agua pluvial a los procesos de planta, las colonias bacterianas que llevan adelante los procesos biológicos, serán arrastradas y por lo tanto el proceso se degrada completamente. Para este inconveniente, actualmente en casos de lluvias, se cierran las cámaras by pass, y se desvía el efluente hacia un cañadón que toma el agua de lluvia de la principal subcuenca del río Gualeguaychú, con lo que el efluente se diluye hasta en un 100:1, lo que se toma como un valor suficiente para suponer que el impacto no es tan importante. A pesar de esta suposición, sobre la que no se han hecho mediciones, el canal de transporte no cuenta ni siquiera con una cámara de rejas para retener los sólidos más grandes.

Referido a la operación de las lagunas de sedimentación, se produjo la rotura de la membrana impermeable que conforma el recubrimiento de las mismas. Esto fue ocasionado a partir de un problema de construcción. En dicho proceso, se puso cañería de vaciado hacia fuera de las lagunas para evitar que estas llenen durante su construcción a partir de las lluvias ocurrentes. Estos caños no fueron retirados del fondo, y fueron tapados por el suelo de la base de la laguna, sobre la que se apoyo la membrana.

En la ultima gran inundación, el agua que llego al predio, comenzó a circular por esa cañería hacia el interior de la laguna, y al encontrarse con el tapón de suelo, lo comenzó a socavar, hasta que alcanzo la membrana, que colapso por la gran presión del agua por sobre este y se rajo. Esto ocasiono que la laguna se vacié por completo, y que quede fuera de funcionamiento durante nueve días hasta su reparación. El proceso de reparación no reviste mayores problemas, ya que la tecnología de reparación, además de confiable, es muy simple, y solo presenta demoras porque hay dos técnicos en todo el país que se dedican a este tipo de reparaciones.



Con la puesta en funcionamiento de la planta fueron apareciendo algunos problemas de diseño que no se pueden prever en la etapa de proyecto. Tal es el caso del efecto que produce en la salida de las cañerías del pozo de bombeo hacia los desarenadores, la caída del efluente sobre el líquido en la cámara, que genera además de salpicaduras, la aparición de un gas, que contiene una carga contaminante muy alta, ya que es producto del movimiento del efluente crudo, y que resulta muy peligroso para el personal que está en contacto con esto por su cercanía a la zona de limpieza de rejas.

Otro inconveniente relacionado a este defecto es la evaporación del efluente en el desarenador, durante la época invernal, ocasionada por la diferencia de temperatura ambiente y la del efluente.

La fase posterior al paso por el desarenador, es el contacto con la cámara de remoción de sólidos livianos, que es una cámara de tabiques transversales, donde se induce una corriente ascendente y descendente, para que todos aquellos sólidos livianos queden en la superficie y sean removidos. Esta cámara presenta el inconveniente que ocasiona la gran velocidad de flujo que trae el efluente, que no le permite a los sólidos flotar, ya que son arrastrados. Efecto que se puede presuponer parte de la baja capacidad del pozo de bombeo, lo que obliga una circulación continua y más veloz del efluente.

Los residuos aportados por los camiones sépticos, son integrados al principio del proceso para el tratamiento. El principal problema de este proceso, radica en la falta de información que se tiene del líquido transportado, ya que solo es caracterizado por inspección visual y en ocasiones por un análisis de DBO_5 , que es el único registro que se tiene.

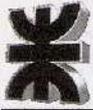
No se tienen registros de estudios de suelos del lugar de emplazamiento de la planta, con lo que se supone que el manto que contiene las posibles filtraciones es una arcilla violeta, que asegura la impermeabilidad del mismo, pero este dato es supuesto por los diseñadores y nunca fue corroborado por estudios de campo pertinentes.

3.4.3.2. *Problemas de diseño*

Uno de los inconvenientes es la poca capacidad que posee el pozo el bombeo, que llevo a la medida extrema de subir la cota útil de bombeo, que ocasiona que se este trabajando a conducto lleno, es decir con 500 metros de cañería de red inundada, lo que no es recomendable.

3.4.3.3. *Problemas con los residuos*

Los sólidos extraídos de las cámaras de rejas y de los desarenadores, también constituyen un problema, ya que no se proyectó un uso o destino para estos, al momento de proyectar la planta, por este motivo, hoy se retiran del sistema, se embolsan, y se entierran en otro predio, en trincheras de un metro de ancho. El problema de esto, es que no se conoce la permeabilidad del suelo donde se los entierra, con lo que lo que puede ocurrir que en contacto con agua de lluvia, se produzca un líquido lixiviado, que contamine las napas.



Además no se separan los sólidos orgánicos de los inorgánicos, con lo que a pesar de la degradación de los orgánicos, una gran parte de residuos queda enterrado en una fosa que no se degradara por cientos de años. En planta se tiene la precaución de quitar los líquidos de lixiviado de las bolsas antes de llevarlas a su destino final.

3.4.3.4. Problemas con la desinfección

La planta de tratamiento cuenta con un sistema de cloración para la eliminación de los coliformes fecales, que se basa en la inyección de cloro gas a través de un Venturi en el cual se mezcla con el agua y se incorpora a la masa de efluente cloacal. En el momento de la puesta en marcha de la planta, todo el sistema estaba listo para operar, pero tenía como principal déficit el faltante del sistema incorporador de agua, que debía contar con una provisión mínima de agua de 35.000 litros diarios para llevar adelante el proceso.

Esto fue imposible de concretar, partiendo de la premisa básica que era inconcebible tirar esa cantidad de agua para el tratamiento, mas aún si esta proviene de pozos de bombeo de agua potable, lo que hizo considerar que era un desperdicio muy importante para realizar.

Otro aspecto importante es que si se extrae esta cantidad de agua de la red de provisión de la ciudad, sería poco factible que el agua llegue por gravedad hasta el emplazamiento de la planta, con lo que también se debería contar con una infraestructura demasiado importante para el bombeo.

Como alternativa se planteo tomar agua desde el centro de una de las piletas de sedimentación, desde una profundidad de 1 metro, donde se consideraba que el agua estaba en condiciones de utilizarlas para este proceso, aunque esto puede resultar poco probable ya que si el efluente esta en condiciones, el bombeo puede ocasionar una remoción de los fangos que sería perjudicial para todo el proceso.

Otro aspecto importante que se considero según los técnicos de la planta, es que el proceso de cloración puede producir como secuela la generación de toxinas generadas por el cloro que son perjudiciales para la salud, y es el principal componente que se acusa de contaminación a la pastera implantada en la zona, con lo cual se generaría un problema ambiental con los propios ambientalistas de la ciudad. Debido a todo esto, no se implemento el sistema hasta hoy, a lo que aducen que la contaminación de coliformes fecales, es perfectamente autodepurable por el río.





Capítulo 4. Caracterización del sistema de tratamiento de efluentes cloacales de la ciudad de Colón.

La ciudad de Colón es una de las ciudades destacadas de la provincia de Entre Ríos por sus atractivos turísticos y las características de la ciudad que la posicionaron como uno de los centros más visitados en la costa del Uruguay.

4.1. Características de la ciudad de emplazamiento

Esta ciudad se encuentra fundada en una de las márgenes del Río Uruguay, en el centro del tramo que contiene la provincia de Entre Ríos.

4.1.1. Ubicación geográfica

La ciudad de Colón se encuentra junto a la frontera con la República Oriental del Uruguay, frente a la ciudad de Paysandú, por la cual está unida mediante el puente General Artigas. Está emplazada a orillas del Río Uruguay. Dista 320 km de la ciudad de Buenos Aires, desde la cual se accede RN 14 y RN 135.

4.1.2. Clima

Colón presenta un clima que corresponde a la región templada, variedad pampeano. Las mayores temperaturas medias de la temporada estival se verifican en los meses de noviembre a marzo, con registros de 23° a 34° C. El invierno es suave con mínimas de 10° y máximas de 19° C.

4.1.3. Población

Según el censo del año 2001 realizado por INDEC, la población urbana de la Ciudad de Colón consta de 21.100 habitantes.

La ciudad posee una importante red de recolección de líquidos cloacales, la cual según datos suministrados por la entidad responsable del servicio (OSM) cubre aproximadamente 585 cuadras, con un 65% de cobertura de la planta urbana.

La Población servida es de 12500 habitantes a través de 3600 conexiones domiciliarias.

El estado actual del sistema se considera bueno y en condiciones normales de funcionamiento.

4.1.4. Actividades económicas e industriales

La ciudad de Colón presenta como actividad económica casi excluyente a la actividad turística, que cobra fuerza en esta región por el atractivo de sus playas sobre el Río Uruguay y su complejo termal, lo que le brinda la posibilidad de aceptar turistas todo el año.

4.1.5. Características hidrográficas

Es una ciudad que enfrenta al Río Uruguay a través de sus playas, por lo que todo su desarrollo económico es de cara al río.

4.1.5.1. Principales afluentes

La ciudad se encuentra limitada por tres cursos de aguas de distintas envergaduras, que limitan las condiciones de su entorno de manera significativa, dando como resultado la mayor importancia de la calidad de estos en el desarrollo urbano y turístico.

Se destaca la característica de ser una localidad costera al Río Uruguay, con costanera y playas sobre las márgenes mismas de la ciudad, lo que le brinda a los habitantes contacto directo con el río.

La ciudad limita al norte con el Arroyo Artala y hacia el sur con el Arroyo La Leche, Figura 4-1, el cual es el primer cuerpo receptor de los efluentes cloacales tratados. Ambos arroyos son cursos de agua de caudal constante, y son importantes afluentes del Río Uruguay.

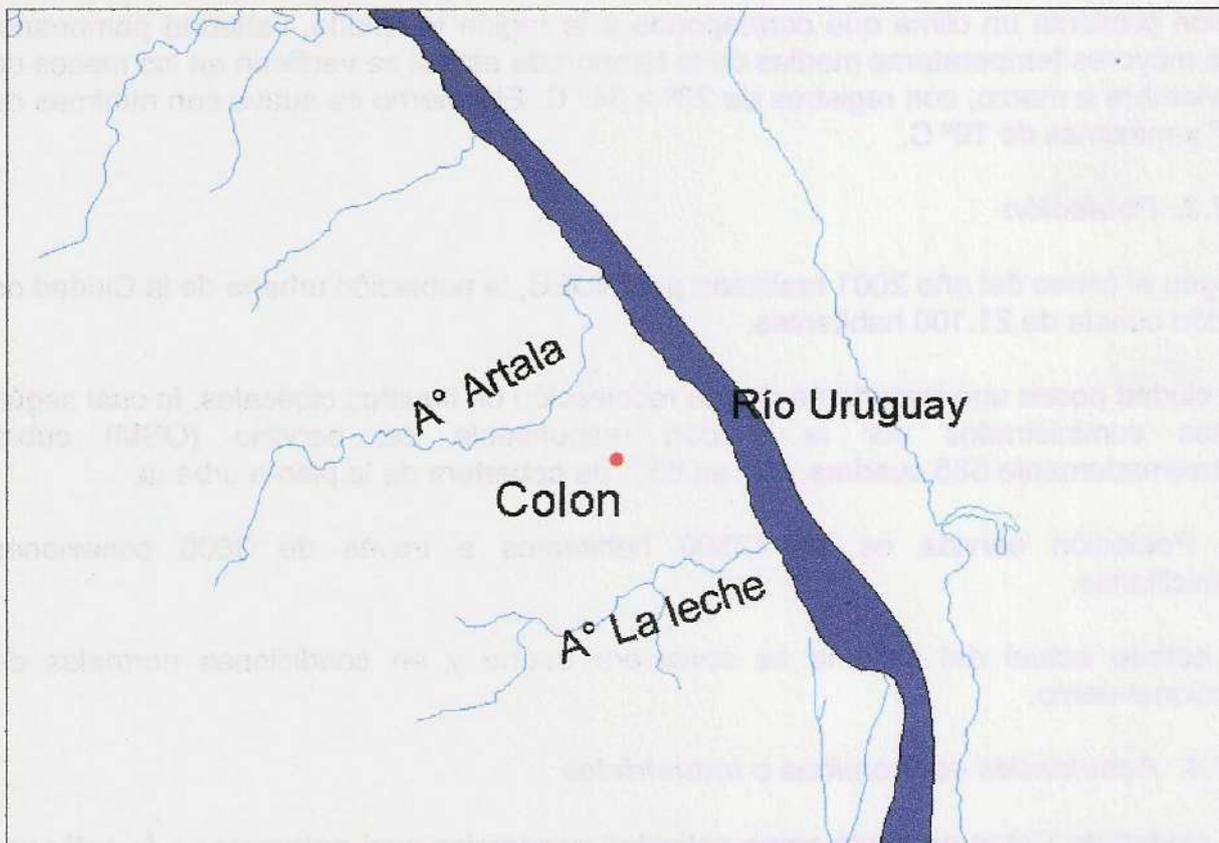


Figura 4-1. Principales afluentes de la Ciudad de Colón.



4.2. Sistema actual de tratamiento

La ciudad de Colón envía el total de sus efluentes al sistema de tratamientos que posee en la margen sur de la ciudad, donde se llevan adelante los procesos de transformación.

4.2.1. Objetivos de la planta

Principalmente el sistema de tratamiento tiene como objetivo la depuración de los efluentes residuales de la comunidad, de manera de disminuir en la máxima cantidad posible, el impacto que la carga contaminante tenga en una primera instancia en el arroyo La Leche, que es el principal receptor, y finalmente en el Río Uruguay, el cual la ciudad de Colón utiliza como fuente de abastecimiento de agua potable.

4.2.2. Ubicación

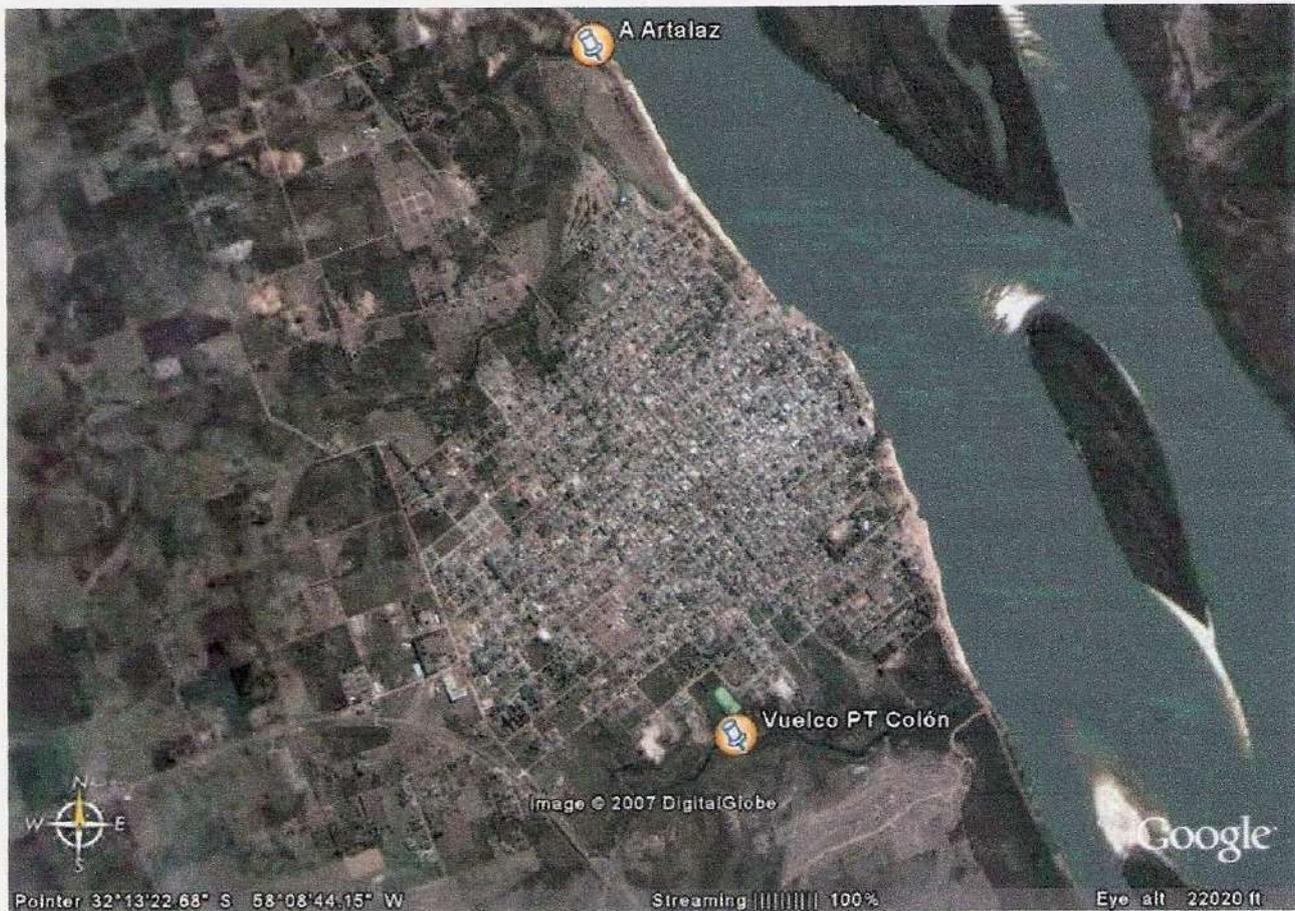
Las piletas de Tratamiento de la ciudad de Colón, con descarga al Arroyo La Leche, aguas arriba de la ciudad de Concepción del Uruguay, se encuentran ubicadas al sur de la ciudad, donde aun no se extiende la zona urbanizada, aunque se prevé un crecimiento de la ciudad hacia ese sector, siendo evidente esto al observar la instalación de asentamientos, Figura 4-2.



FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

MONUMENTO NACIONAL

TELÉFONO: (0351) 425511 / 425503
ING. PÉREZ ARSÉNIO - CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
ENTRE RÍOS - REP. ARGENTINA



El terreno de emplazamiento en un principio fue elegido debido a una serie de factores, como la cercanía al arroyo La Leche; disponibilidad de extensión necesaria de terreno para el emplazamiento de las lagunas y distancia al núcleo urbano.

Si bien en un principio la distancia a los núcleos urbanos fue contemplada en el emplazamiento de las piletas, hoy en día se observa una red densa de asentamientos urbanos alrededor de las mismas. Dichos asentamientos han ido incrementando con el paso del tiempo, tanto por usurpación de terrenos, como por barrios realizados con consentimiento del propio municipio de la ciudad de Colón.

4.2.3. Procesos

El sistema de tratamientos empleados es un sistema de lagunaje o estanques de estabilización, que combina en serie una pileta del tipo facultativo y uno del tipo anaerobio, donde se llevan adelante procesos en ausencia de oxígeno y posteriormente un procesos combinado, para estabilizar finalmente la materia orgánica. Funcionan en dos baterías de dos lagunas cada una, que trabajan en forma paralela, es decir en tratamiento del efluente en simultaneo.



Figura 4-2. Ubicación del sistema de lagunaje de la ciudad de Colón.

4.2.4. Descripción de los sistemas

Este sistema de lagunaje que realiza el tratamiento de los efluentes de la ciudad de Colón está constituido por un sistema de estanques construidos por sobre la cota de terreno natural mediante terraplenamiento de suelo seleccionado.

No presenta ningún elemento de impermeabilización del suelo de la misma, y las aguas se depositan directamente sobre el terreno natural que es fondo de los estanques.

El efluente es recibido por una toma única que divide el caudal en porcentajes iguales para cada sistema.

4.2.4.1. Diseño y datos de proyecto

La Ciudad de Colón posee dos baterías de lagunas conectadas en paralelo, que incluye un estanque anaeróbico con una extensión de 0,85 ha. cada uno, y dos lagunas facultativas cuya extensión es de 1,71 ha. para cada una, Figura 4-3.

No hay industrias en planta urbana que produzcan residuos con alto grado de contaminación, por lo que no presenta otro sistema de tratamiento además de este, y tampoco se utilizan tratamientos terciarios para la eliminación de organismos patógenos.

El caudal medido por OSM a la entrada de las lagunas se encuentra entre 90 y 150 m³/h y el mismo corresponde a un 30 % de la dotación de agua potable. Se estima, según lo indicado por OSM, que la gran diferencia entre el caudal de agua potable entregado y el efluente cloacal, es debida en gran parte al agua destinada al riego, lavado y aquellos sectores que no cuentan con red cloacal.

Si consideramos el rango de valores informado (90 a 150 m³/h), el caudal cloacal de Colón varía entre 0,025 y 0,042 m³/s, y la dotación teórica sería variable entre 180 y 300 l/hab/día. Se supone que el valor máximo corresponde a la hora pico en el período estival.



Figura 4-3. Configuración del sistema de lagunas de estabilización.

4.2.4.2. Estructura de entrada

El efluente cloacal es recibido en el predio de las lagunas a través de una cámara cerrada de mampostería, que hace de aquietador del flujo, y que divide el caudal en partes iguales para derivarla hacia las lagunas. Esta estructura no cuenta con cámara de rejas o algún dispositivo de remoción de sólidos.

El ingreso a cada laguna se realiza a través de cañería de PVC de 400mm, que esta empotrada en un macizo de mampostería para fijarlo, e introducirlo aproximadamente 2 metros al interior de la laguna anaerobia, en posición diagonal, distribuyendo el efluente hacia el centro del estanque, Figura 4-4.



Figura 4-4. Estructura de ingreso del efluente al estanque anaerobio.

4.2.4.3. Estanque Anaerobio

En los sistemas de estanques de estabilización combinados, el efluente ingresa en primera instancia a una laguna anaerobia donde se llevan a cabo procesos de este tipo, es decir en ausencia de oxígeno. En el caso de este sistema en estudio, son dos estanques de aproximadamente 90 m. por 90 m. de longitud, lo que le da un superficie de tratamiento de 8100 m², Figura 4-5.

Este estanque tiene acceso desde la vía pública sin estar delimitado por ningún cerco perimetral y sin iluminación para la prevención nocturna.

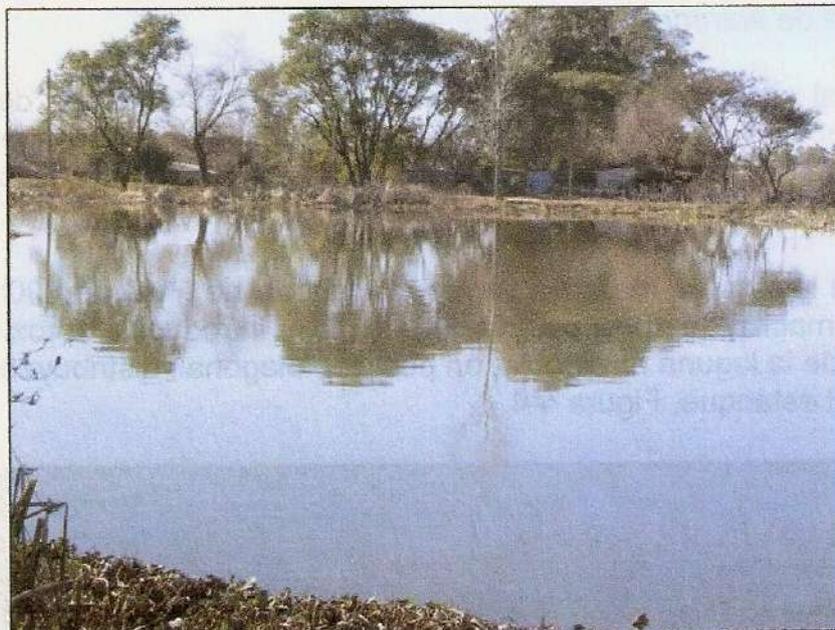


Figura 4-5. Estanque o laguna anaerobia.

4.2.4.4. Estanque Facultativo

El estanque facultativo, es de planta rectangular y tiene aproximadamente 90m. por 190m. lo que le confiere una superficie aproximada de 17000 m², para el tratamiento del efluente a través de la combinación de procesos aerobios, facultativos y anaerobios, Figura 4-6.

Como el caso de los estanque anaerobios, no presentan delimitación alguna, ni iluminación.

Se encuentran conectados a los estanques anaerobios a través de cañería a nivel de tirante líquido, lo que permite el paso del efluente de manera natural por la diferencia de altura entre tirantes de cada estanque.

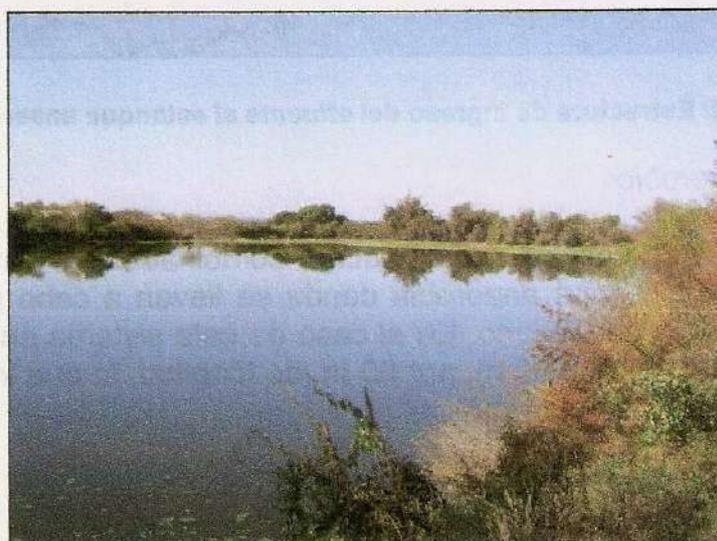


Figura 4-6. Laguna facultativa.

4.2.4.5. Estructura de Salida

No existe como estructura de salida, mas elemento que la cañería de vinculación desde las lagunas facultativas hacia el arroyo La Leche, donde el efluente fluye libremente, sin estructuras anti erosivas.

4.2.5. Problemática de su funcionamiento

Este tipo de sistemas de lagunajes naturales, presentan como característica principal, la necesidad de mantenimiento mínimo para su funcionamiento, lo que no significa mantenimiento nulo, lo que ocasiona que el deterioro llegue a ser total.

4.2.6. Mantenimiento.

Desde la llegada del efluente a la planta de tratamientos, se pudieron observar graves problemas infraestructura. La llegada del líquido residual desde la red colectora, por la estructura de entrada, se lleva adelante sin la extracción de los sólidos mas gruesos, ya que no existe cámara de reja para tal fin. Esto acelera notablemente el proceso de sedimentación y pérdida del tirante líquido.

La cámara de llegada del efluente, está ubicada sobre la vereda del perímetro, por lo que los pobladores de la zona circulan en contacto durante todo momento.

La estructura de ingreso del efluente a las lagunas, es de fácil acceso para cualquier persona que circule por el lugar, lo que genera un contacto permanente del efluente crudo cayendo por gravedad a las lagunas con las personas del lugar. La base de mampostería que sostiene el caño de ingreso, e incluso este, tienen un deterioro total, producto de la falta de mantenimiento, Figura 4-8. Se observo además la rotura de uno de los anclajes del caño de ingreso para ser utilizado como punto de descarga para camiones atmosféricos de limpieza de pozos domiciliarios, Figura 4-7.



Figura 4-7. Anclaje de la cañería de ingreso.



Figura 4-8. Sistema de ingreso del efluente.

El predio que aloja las lagunas no está delimitado por ninguna barrera artificial, Figura 4-9, por lo que es común encontrar habitantes del barrio circulando por los taludes, lo que genera un peligro masivo de contagio de enfermedades y el peligro de accidentes.



Figura 4-9. Falta de delimitación del predio y cercanía de asentamientos.

Refiriéndonos a las lagunas propiamente dichas, se encuentran invadidas totalmente por arbustos y malezas que ya se incorporan al paisaje natural de las lagunas, incluso arbustos de gran tamaño, Figura 4-10.

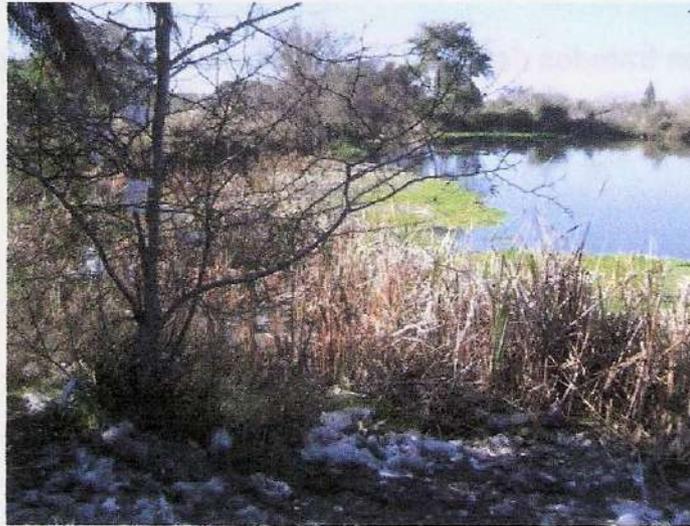


Figura 4-10. Crecimiento de malezas en taludes de lagunas.

La cañería de interconexión de lagunas, está totalmente cubierta de malezas, por lo el fluido en algunos casos circula por filtración.

En el caso de la estructura de salida, durante el tiempo de realización de esta investigación, estaba destruida en su totalidad, contando solamente con un caño de descarga, el cual vuelca el efluente directamente sobre el terreno natural entre las lagunas y el arroyo. Si bien el terreno natural posee pendiente hacia el arroyo La Leche el efluente volcado ha efectuado su propio camino, inundando zonas aledañas a la salida del efluente.

En las visitas a planta se pudo observar con absoluta frecuencia, la existencia de olores nauseabundos, que inundan los barrios linderos.

En cuanto a su funcionamiento, se pudo observar una alta eutrofización de las lagunas anaerobias, lo que indican que el proceso, que debería llevarse adelante en ausencia de oxígeno, ocurre lo opuesto, inutilizando el proceso por completo.

Hasta el momento de la realización de este trabajo, nunca se llevaron adelante tareas de dragado de los sedimentos de las lagunas, y tampoco se lleva control del estado de los mismos, por lo que es correcto suponer que la profundidad mínima útil para el desempeño de los procesos ya no está garantizada.

4.2.7. Personal

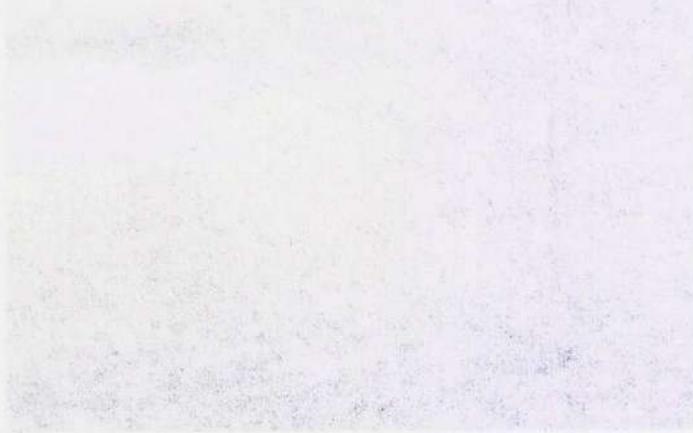
El municipio de Colon no cuenta con personal alguno para el mantenimiento, funcionamiento ni control de las lagunas.



4.2.8. Residuos

Debido a la falta de mantenimiento, los residuos sólidos que llegan hasta el final del proceso, son volcados directamente al arroyo y luego desemboca él en el Río.

Los sedimentos no son tratados debido a que no se efectúan tareas de remoción.



Capítulo 5. Caracterización del sistema de tratamiento de efluentes cloacales de la ciudad de Federación.

La ciudad de Federación es la localidad más joven de la región del lago de Salto Grande y ha tenido en los últimos años un crecimiento exponencial, que la ubican entre las más importantes de la zona, gracias a la explotación del turismo.

5.1. Características de la ciudad de emplazamiento.

El estudio de la ciudad de Federación, como ejemplo de tratamiento de efluentes, es interesante considerando que es una ciudad muy joven en su historia, en la cual se han aplicado durante su reconstrucción sistemas constructivos modernos para la época de su desarrollo, y donde la planta de tratamientos de efluentes cloacales, fue un sistema muy desarrollado tecnológicamente para su época, y sigue teniendo vigencia debido a que sus procesos siguen siendo de primer nivel en cuanto tecnología aplicada para el tratamiento de efluentes.

5.1.1. Ubicación geográfica.

La ciudad de Federación se encuentra situada en el noreste de la provincia de Entre Ríos, sobre una de las márgenes del lago salto grande, y está emplazada sobre su costa, Figura 5-1.

Originalmente la ciudad se encontraba a unos pocos kilómetros del cauce original del Río Uruguay, hasta la construcción de la represa Salto Grande, hecho a partir del cual fue relocalizada, y la ciudad fue reconstruida en su totalidad, alrededor del año 1979.

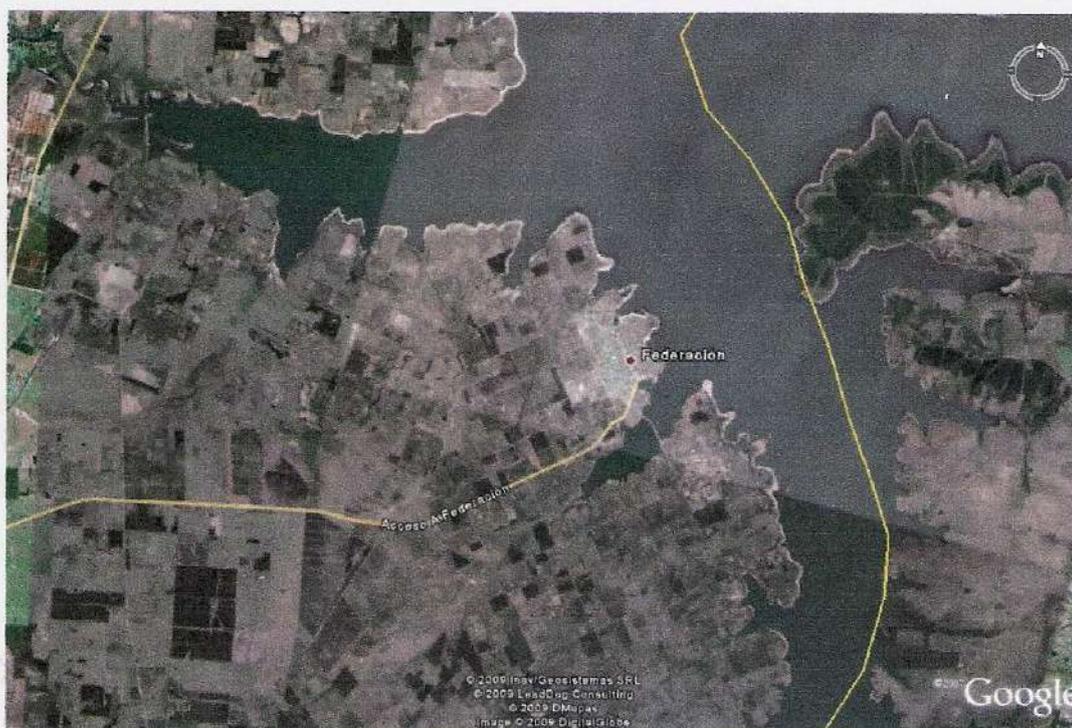


Figura 5-1. Ubicación geográfica de la ciudad de Federación.



5.1.2. Clima.

Pertenece a la categoría de Subtropical sin estación seca que abarca el norte de la Provincia de Entre Ríos. Presenta inviernos suaves y heladas poco frecuentes. Es caluroso y húmedo. Las temperaturas van desde los 13° a los 35° según la época del año. Los vientos preponderantes son del noreste, sudeste y también del este y norte. El promedio anual de precipitaciones establece registros de 1.200 milímetros anuales. Los veranos han sido secos y otros lluviosos. En cuanto a la humedad es relativamente alta por influencia del espejo de agua del Lago Salto Grande.

5.1.3. Población.

La ciudad de Federación, cuenta según el último censo realizado por INDEC en el año 2001, con una población estable de alrededor de 12.260 personas. Esta población incluye aquellos pobladores que se encuentran en la ciudad como habitantes estables de la misma, y no considera la población turística, que en época invernal y de verano suele duplicar la población estable.

5.1.4. Actividades económicas e industriales.

En la actualidad la principal actividad económica es el turismo que ocupa la ciudad la mayor parte de año, ya que cuenta con un complejo termal y con amplias zonas de playas, lo que permita una posibilidad muy versátil para disfrutar la ciudad.

Como segunda actividad, se destaca la actividad maderera, con múltiples aserraderos ubicados en la zona industrial de la ciudad, donde era el emplazamiento de la vieja Federación. Esta actividad maderera se mantiene por ser la principal actividad económica antes de surgir los emprendimientos turísticos.

5.2. Sistema actual de tratamiento.

La planta de tratamientos de efluentes de la ciudad de Federación nace como parte del proyecto integral de la relocalización de la antigua ciudad de Federación, la que quedo dentro de la zona inundable del actual lago Salto Grande, producto de la construcción de la Represa localizada aguas arriba de la ciudad de Concordia, y que fue construida en la década del '70.

Su proyecto fue tenido en cuenta debido al impacto que podrían generar las aguas residuales sobre el lago Salto Grande, que además de producir un impacto negativo en las localidades aguas abajo, también impactaría directamente sobre el uso que la población de la ciudad de Federación daría al lago.

5.2.1. Ubicación.

La planta de tratamientos de efluentes cloacales de la ciudad de Federación se encuentra ubicada en un predio de la zona suroeste de la ciudad, Figura 5-2, y su acceso principal es secundario respecto del acceso a la ciudad. Originalmente el predio elegido estaba retirado del emplazamiento del casco céntrico de la ciudad, y tenía la

particularidad de cierta cercanía a una zona del lago, aguas abajo de la ciudad, de manera que el vertido no afectara la utilización de las playas.



Figura 5-2. Ubicación de la Planta de tratamientos de la ciudad de Federación.

Actualmente, y debido al desmedido aumento de la población y de la construcción de complejos turísticos, la población ha ido ocupando zonas aledañas a la planta, y actualmente se asientan a pocos metros de la misma.

5.2.2. Análisis poblacional y de diseño.

El análisis poblacional presentado a continuación, incluye los datos de proyección demográfica obtenidos para el proyecto de la planta original, y son completados con la proyección hasta el término de la vida útil de la ampliación que se construyó durante el tiempo en el que se realizaba esta investigación.

Se obtuvo una proyección desde el año 1970 hasta el año 2040, donde se estima, las partes mecánicas alcancen su vida útil.

El análisis poblacional realizado tiene en cuenta los tres métodos más importantes para la determinación de la evolución poblacional. Se muestra aquí el resumen y resultado de los cálculos efectuados para la determinación de la población de diseño del Proyecto Original.

En la Tabla 5-1 se comparan los resultados obtenidos con los 3 métodos de proyección utilizados.

METODO DE PROYECCION				
AÑO	PROYECCION HISTORICA	LOGISTICO	TASA DECRECIENTE	RELACION TENDENCIA
1970	6.161			
1980	8.845			
1990	10.428			
2000	11.930	11.930	11.930	11.930
2010		13.852	14.132	14.093
2020		16.080	16.524	15.768
2030		18.663	19.322	17.418
2040		21.654	22.594	19.426

Tabla 5-1. Crecimiento poblacional de acuerdo a distintas proyecciones de crecimiento.

Se adoptó el método de tasas decrecientes, de acuerdo a las expectativas altas de crecimiento, basadas en el aumento de turismo que tuvo la localidad en los últimos años, como consecuencia de las termas locales.

5.3. Sistema de tratamiento adoptado.

El sistema de tratamientos adoptado sigue siendo recomendado como un tratamiento complejo, de características de depuración muy buenas, por lo que tecnológicamente es vigente aun.

5.3.1. Procesos.

El sistema elegido para la planta de tratamientos de efluentes cloacales, es un conjunto de lagunas aireadas mecánicamente, con sedimentador, recirculación de barros y sistema de cloración, Figura 5-3.





El efluente cloacal tiene dos puntos de ingreso a la planta de tratamiento, dependiendo del origen del mismo. Principalmente el efluente ingresa de la red cloacal hacia la planta, siendo este el más importante caudal que recibe. El otro aporte es el de la descarga de los camiones atmosféricos, ya que la ciudad no cuenta con servicio de red cloacal en su totalidad, por lo que se realizan desagotes de pozos absorbentes en domicilios, que son incluidos en los efluentes procesados en la planta.

Desde ambos orígenes, los efluentes son conducidos hacia la cámara de rejillas que es la primera de las instalaciones físicas de tratamiento. En esta, el efluente se desprende de la parte sólida de mayor tamaño, y además se depura en lo relacionado a la parte sólida que sedimenta por peso específico, como es el caso de arena, por lo que dicha cámara funciona además como desarenador, y posee en su parte final, una canaleta parshall, como medio de aforo de caudales.

Desde la cámara de rejillas el efluente se dirige a una batería de dos piletas de aireación donde se produce la incorporación de oxígeno a la mezcla, a través de un sistema mecánico que insufla aire al líquido residual, por medio de difusores que generan burbujas para favorecer la incorporación de oxígeno al efluente, mejorando así las condiciones biológicas aerobias.

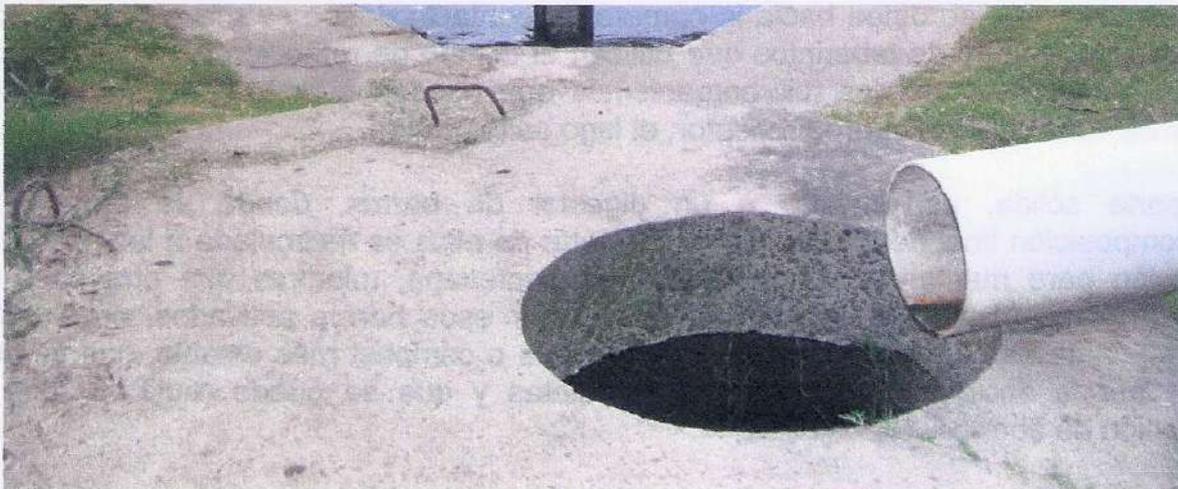
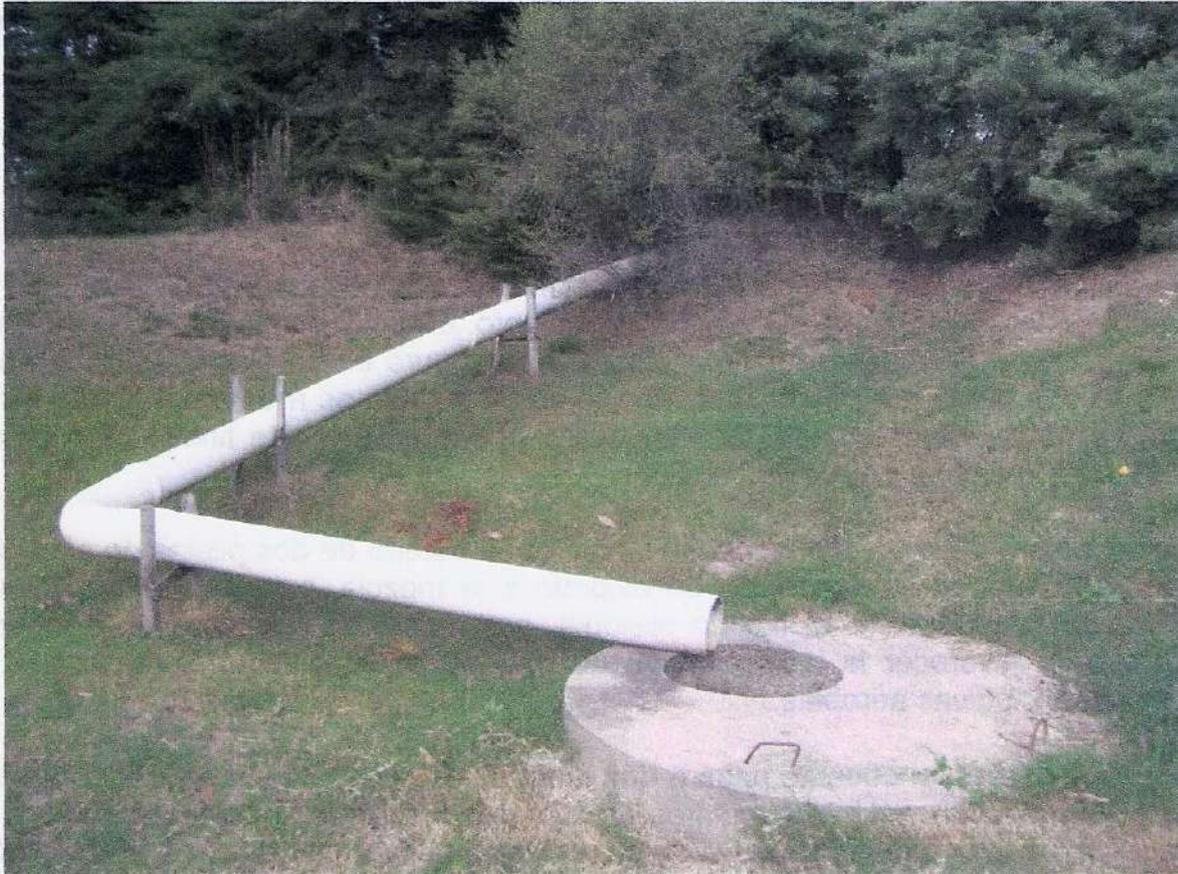
Desde estas piletas, el efluente pasa a dos tanques de sedimentación, donde a través de un sistema de barredores circulares de fondo, se decanta la parte de sólidos en suspensión que pueda quedar, del efluente recibido, mejorando la mezcla en turbiedad y en contenido de partículas. Se desprenden de esta etapa dos productos finales, la parte líquida, que se dirige hacia la cámara de contacto donde se mezcla con cloro a través de una serie de laberintos que utilizan el tiempo de retención para favorecer la mezcla, eliminando así los microorganismos que pueden quedar en el líquido final, antes de volcarlo en el cuerpo receptor, el lago salto grande.

La parte sólida, es enviada a un digestor de barros, donde se produce la descomposición final de los barros, y una parte de ellos es recirculada a las piletas de aireación para mantener estable la colonia bacteriana, mientras que otra parte es enviada a las playas de secado, para convertir esos barros activados, cuya carga contaminante es muy importante, en una mezcla o compost más estable, que se deja secar por la acción de los rayos ultra violetas y que se puede reutilizar para la formación de abonos.

5.3.1.1. *Descarga de camiones atmosféricos.*

Los camiones atmosféricos tienen su lugar de descarga a la entrada del proceso, pero de manera diferenciada al ingreso del efluente proveniente de la red cloacal de la ciudad. Esta descarga se realiza a través del vertido de los camiones sobre un playón de hormigón, que contiene cantos rodados que permiten una pequeña filtración del líquido, antes de conducirlo al ingreso de la planta.

La instalación de descarga además del filtrado básico, asegura una zona donde no se generen vapores en cercanías al contacto humano, y habilita un sistema de acople para las mangueras de descarga de los camiones y las cañerías que conducen el efluente al inicio del proceso.





5.3.1.2. Desarenador y cámara de rejás.

Llamamos desarenador al elemento de la planta de tratamiento destinado a la retención de arenas gruesas y finas u otros elementos de origen mineral.

Las funciones fundamentales de un desarenador es proteger al equipamiento móvil de la abrasión y proteger las conducciones de las obstrucciones.

Las arenas se eliminan por sedimentación haciendo que las aguas pierdan velocidad, pero esa reducción de velocidad debe ser tal que no permita la deposición de la materia orgánica, dado que los productos obtenidos son destinados al relleno. Por esta razón se fijan ciertos límites, que oscilan entre 0.20 a 0.35 m/s. En el caso de la planta de Federación la velocidad en el desarenador es de 0.32m/s, con lo cual estaría dentro de los límites establecidos.

FACULTAD REGIONAL CONCEPCION DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
MONUMENTO HISTÓRICO NACIONAL

TEL./FAX: (03442) 425541 / 423803
Ing. PEREYRA 670 - E3264BTD - CONCEPCION DEL URUGUAY
ENTRE RIOS - REP. ARGENTINA

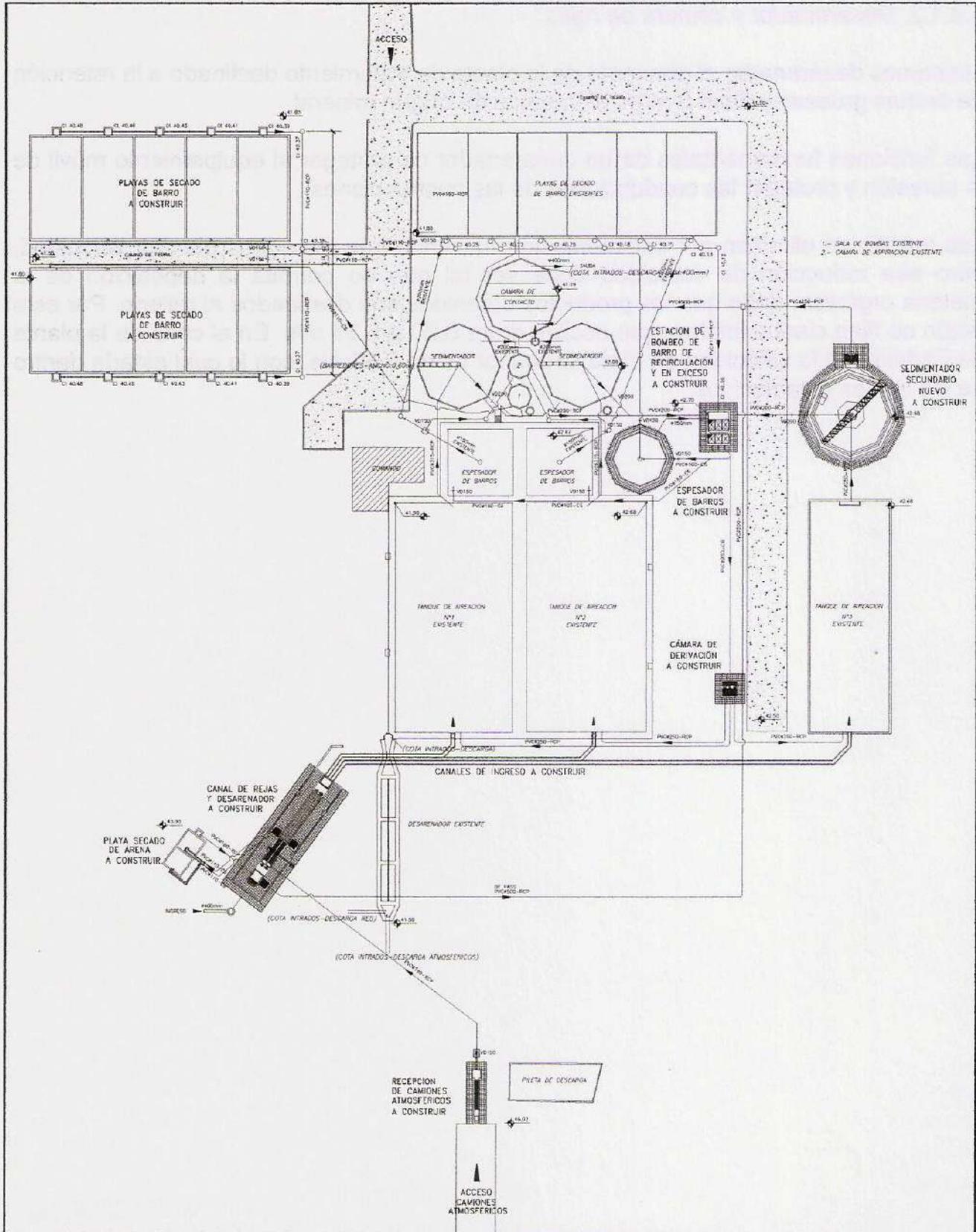


Figura 5-3. Esquema de la planta de tratamientos.

El desarenador está compuesto por dos canales que pueden funcionar en forma alternada, facilitando la limpieza de uno mientras continua el flujo por el otro, Figura 5-4. Esta versatilidad del diseño no funciona actualmente en la planta ya que el sistema

funciona con caudal en exceso, lo que imposibilita la detención del flujo en uno de los canales.

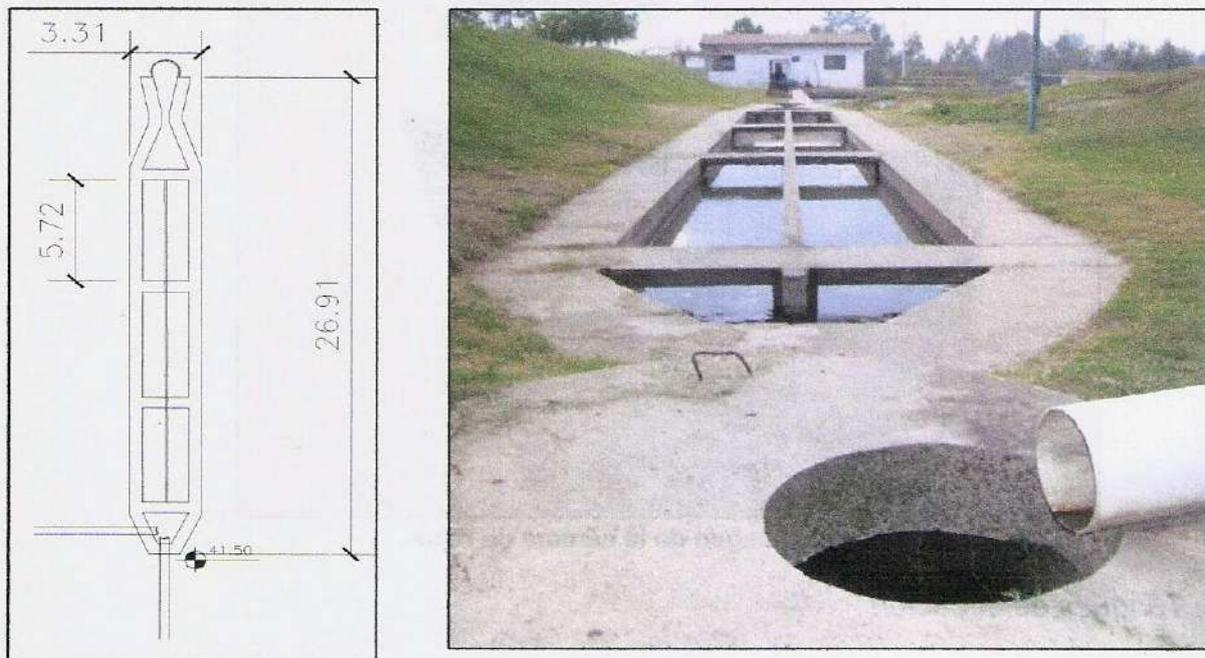


Figura 5-4. Esquema y foto del desarenador.

El sistema de desarenador no posee un sistema de limpieza de fondo por lo que para purgar la arena depositada, se lo hace a través de la succión de una bomba manual que aspira del fondo de los desarenadores.

A la salida de estos dos canales, se encuentra emplazada una canaleta Parshall de aforo de caudales, que se encuentra trabajando totalmente ahogada por el exceso de caudal que recibe la planta.

Por otro lado, en el mismo desarenador, funciona la cámara de rejillas, que tiene como objetivo fundamental proteger la integridad de los elementos mecanizados de las plantas mediante la retención de la materia gruesa que trae acumulada el líquido cloacal crudo.

Están compuestas por dos rejillas metálicas, Figura 5-5, de aproximadamente 2 cm. de separación entre barras horizontales, ubicadas entre el final del desarenador y el comienzo de la canaleta Parshall. La limpieza de las mismas se realiza de forma manual, debiendo extraerse del lugar para realizar su limpieza, lo que genera la plena circulación del flujo sin rejillas cuando se realiza la limpieza.



Figura 5-5. Imagen de la cámara de rejas.

5.3.1.3. Tanques de aireación

En la planta se encuentran localizados tres tanques de aireación,

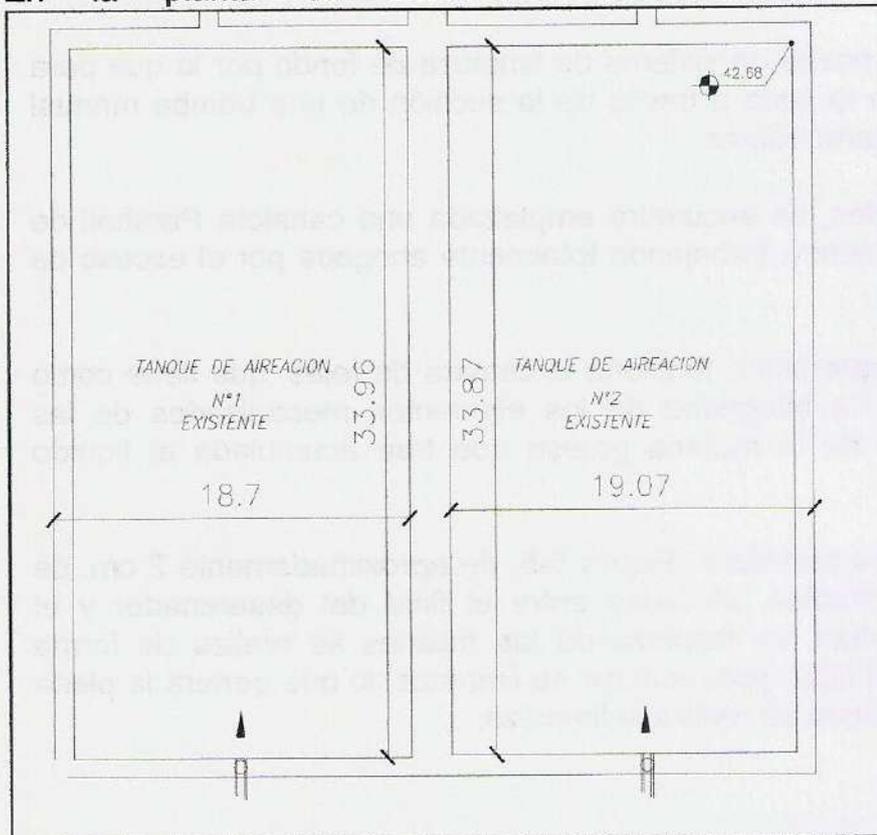


Figura 5-6, dos de los cuales pertenecen al proyecto original, Figura 5-7, y un tercero que es parte de la primera etapa de la ampliación de la planta, que se trata en el capítulo 5.3.3.3, pero que ya se encuentra en funcionamiento.



Figura 5-7. Imagen de los tanques de aireación.

5.3.1.4. Digestor de Barros.

El espesado de barro tiene como finalidad aumentar el porcentaje de la fracción sólida del barro mediante la eliminación de la fracción líquida. Generalmente este proceso se lleva a cabo en una instalación similar a una pileta de aireación, Figura 5-8. Básicamente es una serie de piletas que reciben el barro proveniente de los sedimentadores y se lo clarifica mediante un sistema de aireación que lo mantiene en movimiento por una serie de difusores de aire existentes en la pileta. El efluente obtenido de este proceso es un barro espeso que tiene gran contenido de materia orgánica, Figura 5-9, por ser un barro activado, lo que implica que el manejo de este residuo se sumamente importante por la carga contaminante que posee.



Figura 5-8. Esquema de los espesadores de barro.

Para el caso de la planta de Federación el sistema presenta el gran inconveniente de ser un sistema no flexible, lo que no posibilita la sedimentación del fango al fondo de la pileta manteniendo la aireación en funcionamiento. Como se dijo anteriormente, el barro en esta etapa del proceso presenta una carga muy fuerte contaminante, por lo que el lugar donde se airea, debería ser una pileta totalmente impermeable respecto



La geometría del tanque puede tener una incidencia importante sobre la eficiencia de la transferencia de oxígeno y el grado de mezcla conseguido, es por esto que la etapa de diseño es muy importante para evitar la formación de zonas muertas dentro del tanque. Se pudo observar en distintas visitas, que ocurre una concentración de residuos en las esquinas de los tanques y en algunos otros lugares muertos del mismos. Sin duda, esto se debe a la pobre distribución y mezcla del aire en los tanques. Hay que tener en cuenta que los tanques de aireación antiguos tienen colocados un sistema, basado en la dispersión de aire a través de tuberías de PVC, las cuales se encuentran colocadas en el fondo de las unidades y fueron perforadas manualmente in situ, eliminando así el original sistema de dispersores proyectado.

El aire se insufla desde el exterior a través de dos sopladores que actúan simultáneamente en los tanques de aireación y en los digestores de barros.

Las características de las piletas de aireación son:

N_t (Numero de tanques):	2.
V_{ct} (Volumen de cada tanque):	1381 m ³ .
C_v (Carga orgánica volumétrica):	0,300 Kg DBO ₅ /d*m ³ .
DBO ₅ :	200 mg/l.
Q_{max} (Caudal máx. a tratar en tanque):	4143 m ³ /día.
T (Perm. en tanques de aireación):	16 horas.
θ_c (Edad del lodo):	20 días.

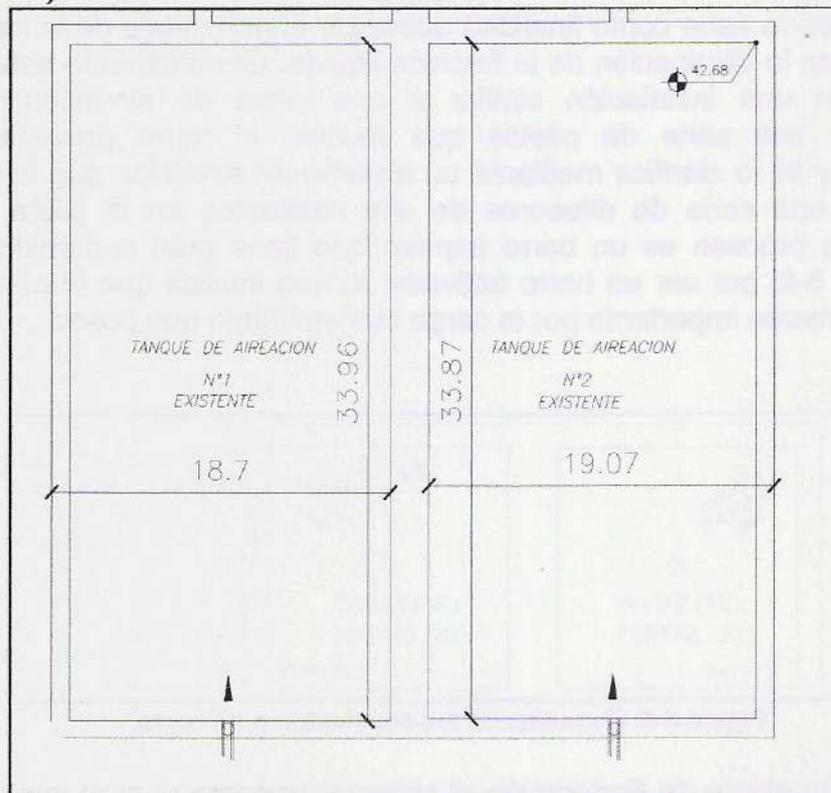


Figura 5-6. Esquema de tanques de aireación.

del suelo circundante, pero se observaron fisuras en las paredes de las piletas que provocaban filtración hacia el exterior de las mismas.



Figura 5-9. Imagen de los espesadores de barros.

5.3.1.5. Sedimentadores

El sedimentador es la instalación física destinada a separar la parte sólida de la líquida, a través del efecto de la gravedad y de la lenta agitación del efluente, que favorece la deposición en el fondo de los floculos formados en la fase anterior de aireación y agitación.

Este proceso se lleva a cabo mediante dos tanques de sedimentación circulares,

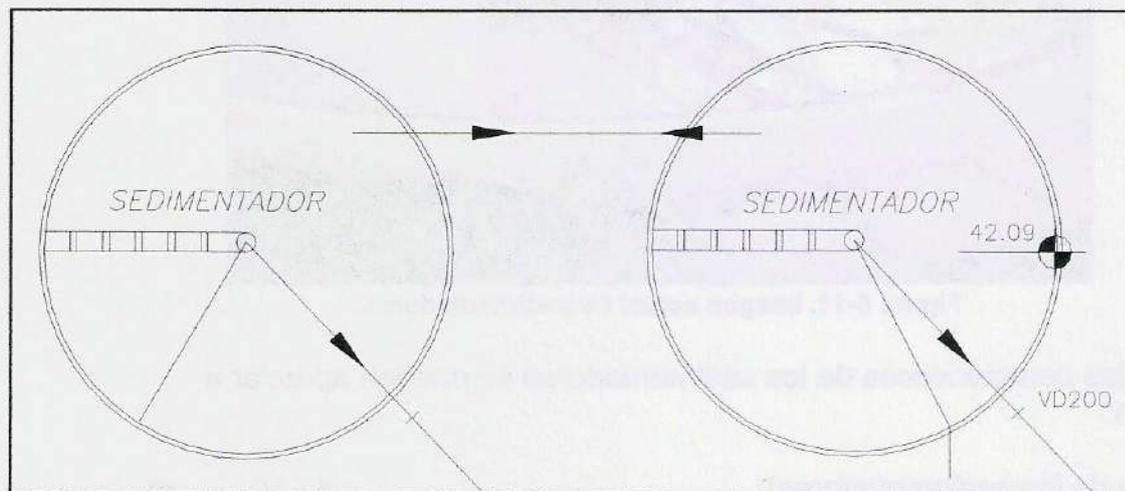


Figura 5-10, donde el flujo es radial. El agua residual a decantar es introducida por el centro del tanque, transportándose hacia ese punto mediante una tubería embutida en el hormigón por debajo de la solera. En la zona central el flujo pasa por una campana circular diseñada para distribuir uniformemente el caudal en todas las direcciones, Figura 5-11.

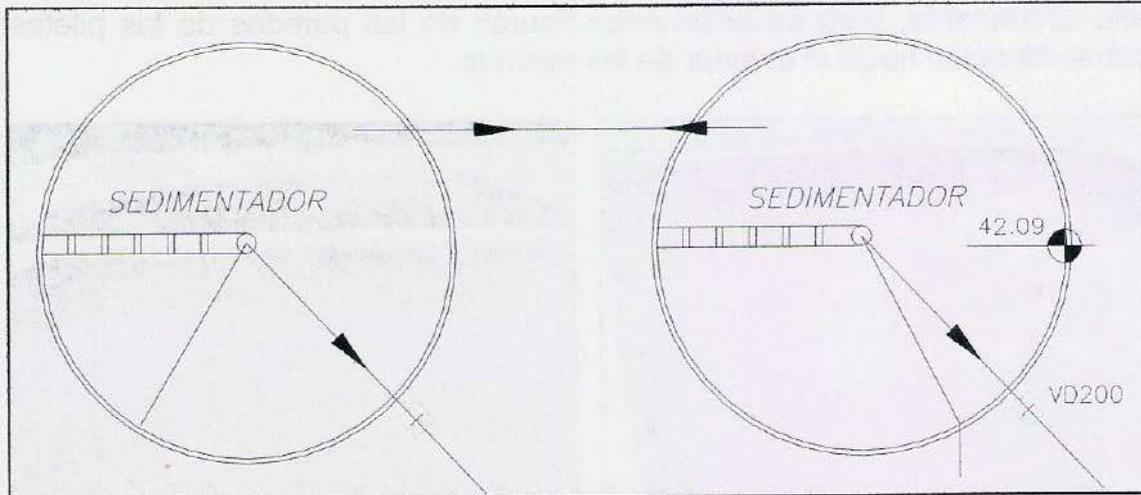


Figura 5-10. Esquema de Sedimentadores.



Figura 5-11. Imagen actual de sedimentadores.

Algunas de las características de los sedimentadores se pueden apreciar a continuación:

D (diámetro de los sedimentadores):	11,50	m
A_s (área Superficial cada Sedimentador):	104	m^2
N (número total sedimentadores):	2	
A_{ts} (área total de sedimentación):	208	m^2
$C_{shmáx}$ (carga superficial máxima):	24,00	$m^3/m^2/d$
$Q_{máx}$ (caudal máximo):	4.986	m^3/d
$C_{shmáxpair}$ (carga superficial máxima de acuerdo al máximo caudal):	19,94	$m^3/m^2/d$



5.3.1.6. Cámara de contacto y cloración

La cloración es la última etapa de tratamiento del agua residual, y tiene como objetivo eliminar aquellos organismos patógenos que puedan existir en el efluente final que luego será vertido al cuerpo receptor, y que son los principales actores ocasionantes de enfermedades en los humanos, ante el contacto o consumo del agua contaminada.

La cloración se lleva a cabo mediante un inyector de cloro simple, que se encuentra empotrado en un cilindro de hormigón donde se realiza la mezcla, Figura 5-12, y posteriormente se introduce en una pileta de planta circular que funciona como cámara de contacto, en donde transita el agua residual por un laberinto de tabiques fijos de hormigón armado, Figura 5-13, que favorecen la retención del líquido para garantizar el efecto de la cloración a través del contacto.

El equipamiento para la dosificación de la cloración se encuentra en un compartimiento diseñado a tal fin, pero es muy viejo y se encuentra visiblemente dañado por el uso y paso del tiempo. Generalmente el tirante líquido no debería sobrepasar la altura de los tabiques, obligando al flujo a transitar por todo el laberinto antes de concluir el proceso. Esto no se cumple en el caso de las horas picos de trabajo de la planta, ya que el caudal es excesivo y el tirante líquido sobrepasa los tabiques, produciendo un déficit en el tratamiento del efluente.



Figura 5-12. Imagen de la cámara de contacto y cloración. Ingreso del efluente y de la vena de cloro en la cámara de contacto.

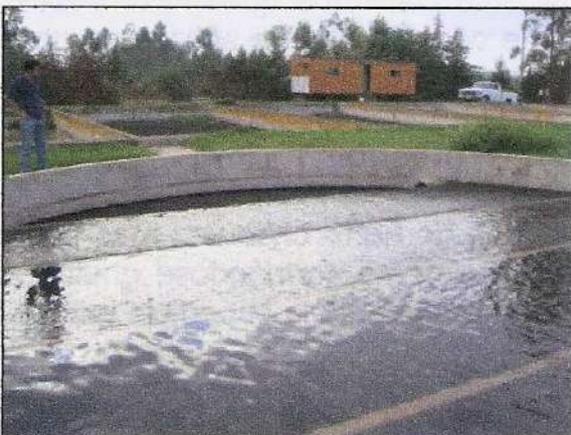


Figura 5-13. Imagen de la cámara de contacto en hora pico de trabajo.



Algunas de las características de la cámara de contacto se observan a continuación:

Cámara de Contacto

D (diámetro cámara de contacto) :	11,50	M
h (altura cámara de contacto) :	1,40	M
V (volumen de la cámara de contacto) :	145	m ³
P (permanencia mínima) :	15	Min
Q _{máx} (caudal máximo cámara) :	13.960	m ³ /d
T (tiempo para el caudal máximo de tratamiento):	33	Minutos

Salida Cámara de Contacto

Q _{r3} (caudal de recirculación cámara 3) :	124	L/s
Lvs (longitud vertedero salida cámara de contacto) :	1,20	m
Q (caudal de salida líquido zanja) :	124	L/s
H _v (altura líquida sobre el vertedero salida zanja):	0,15	m
Lv (longitud pared a abrir muro lateral) :	0,80	m
a (área de pasaje) :	1,12	m ²
v (velocidad de pasaje) :	0,11	m/s
dh (pérdida de energía) :	0,0019	m
nv (número de vueltas) :	4	
dh _t (pérdida de energía total) :	0,01	m
Nivel líquido cámara de contacto :	41,99	m
Nivel vertedero de salida :	41,84	m

5.3.1.7. Playa de secado de barro

La eliminación del agua persigue el objetivo de conseguir el fácil manejo, disposición de los lodos digeridos y la recirculación de la parte líquida del lodo tratado. La deshidratación se produce por una doble acción de drenaje y secado. El barro digerido es distribuido sobre una superficie permeable, compuesta de distintos aridos de granulometría variada, cubierta por una capa de terminación de ladrillos comunes, sobre el cual se deposita el barro, Figura 5-15.

Este lodo contiene una capa de agua relativamente clara que queda por debajo del lodo, y que drena con facilidad hasta que la parte concentrada de sólidos se deposita sobre el manto filtrante como un sólido deshidratado. Este proceso de secado principalmente se produce por la acción de la luz solar, que favorece la eliminación de ciertos organismos que puedan quedar presentes en el barro.

Durante la deshidratación se va formando una capa de barro cada vez más pobre en agua que empieza a encogerse vertical y horizontalmente, formándose grietas en la superficie, por lo que aumenta la evaporación porque aumenta la superficie expuesta al aire, Figura 5-14.



El resultado final de este proceso, es una parte líquida enviada a las piletas de aireación para volver a tratarla, y la parte sólida presenta características de humus, pero muy concentrado, dando lugar a su posible uso como fertilizante.

El tiempo de retención del barro en este tipo de piletas, debería ser de aproximadamente 2 meses, para garantizar el éxito del proceso. Para el caso de Federación, se tienen tiempos de retención menores, debido a que la acumulación del barro es excesivo por verse la planta superada en caudal, siendo la playa de secado una de las instalaciones que ha cumplido su vida útil.



Figura 5-14. Playa de secados de barros. Barro disecado por el proceso natural.

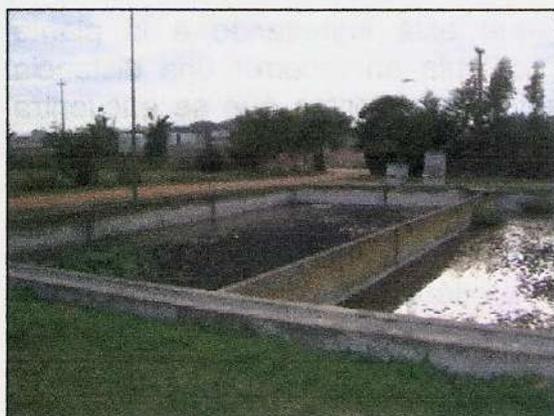


Figura 5-15. Imagen actual del estado de las playas de secado.

Algunas de las características de la playa de secado se ven a continuación.

N (numero total de Playas) :	6	
B (ancho) :	7,50	m
L (Largo) :	15,00	m
A_t (área total de playas) :	675	m^2
E % (Eficiencia remoción Sólidos) :	90%	
C_r (cantidad barro reducido digestión) :	621	Kg/d
C_p (cantidad de barro a Playas) :	559	Kg/d
C_p :	204.146	Kg/año
C_s (carga de barro anual) :	302	Kg/ m^2 /año
$C_{smáx}$ (carga de barro anual máxima) :	180	Kg/ m^2 /año



5.3.2. Análisis para implementación futura de nuevos procesos

A partir del año 2003 se comenzó una etapa de análisis de aquellas deficiencias que presenta la planta, producto de haber alcanzado la vida útil del proyecto original. El mayor desencadenante de este proceso de agotamiento es la pérdida de calidad en el efluente final que es entregado al lago.

Debido al impacto que tiene la descarga sobre la cercanía a zona de playas, y posible impacto con el uso de la población, se tomó la decisión de iniciar la proyección de ampliación de la planta; en el tiempo en el cual se llevo adelante este trabajo de investigación, estaba en etapa de construcción.

Se comenzó con una etapa de proyección de las ampliaciones que se realizarían en la planta, por lo que se realizaron aforos de caudales, proyecciones demográficas, y elección de los sistemas a emplear, teniendo en cuenta que la obra sería planteada como ampliación del sistema elegido en el proyecto original.

5.3.2.1. Aforo de Caudales.

Para determinar la descarga unitaria aparente, donde se contemple el efecto de la población estable y el efecto del turismo, se ha realizado una campaña de muestreo en el mes de septiembre de 2003, mes que se puede considerar como medio dentro de la distribución anual.

Para conocer en forma aproximada el caudal que está ingresando a la planta depuradora, se midió el tiempo que tarda una partícula en recorrer una distancia previamente medida en uno de los dos desarenadores existentes que se encuentra funcionando. Relacionando, el espacio recorrido con el tiempo, se puede determinar la velocidad superficial del líquido.

El lugar de medición elegido, fue en uno de los dos canales desarenadores ubicados al ingreso del establecimiento. Como estas unidades operan en forma alternada, se tomaron los tiempos en el desarenador que se encontraba funcionando.

El líquido recibe gran cantidad de sólidos orgánicos flotantes no retenidos por rejillas, lo que permite utilizarlos como partículas flotantes para medir el tiempo que tardan en recorrer la distancia preestablecida.

El método elegido no representa medición exacta del caudal, pudiéndose emplear sistemas de medición más sofisticados que arrojen un registro de variación de caudales más exacto y real. El resultado del aforo de caudales presenta rangos de medición de caudales que varían entre una hora y media y cuatro horas entre mediciones, lo que ocasiona la falta de registro en ese lapso de tiempo, imposibilitando la realización de una curva de medición real.

En Tabla 5-2 se presenta la planilla de relevamiento y cálculo de caudales.



Desarenador 1 Constante de área = 0,142 Ancho desarenador = 1 Longitud recorrido de medición (m) = 5,85 Coeficiente de velocidad = 0,85	Desarenador 2 Constante de área = 0,142 Ancho desarenador = 1 Longitud recorrido de medición (m) = 5,85 Coeficiente de velocidad = 0,85
--	--

Desarenador	Día	Hora	Altura Líquida (m)	Tiempo Recorrido Partícula (sg)	Area (m ²)	Velocidad Superficial (m/s)	Caudal (L/s)	Observaciones
1	01/09/2003	7:30	0,37	35	0,51	0,17	72,71	Día normal con turismo
1	01/09/2003	9:00	0,37	35	0,51	0,17	72,71	
1	01/09/2003	11:00	0,45	45	0,59	0,13	65,39	
1	01/09/2003	15:00	0,38	31	0,52	0,19	83,69	
1	01/09/2003	17:00	0,24	29	0,38	0,2	65,46	
1	02/09/2003	7:30	0,34	35	0,48	0,17	68,44	
1	02/09/2003	9:00	0,35	33	0,49	0,18	74,1	
1	02/09/2003	11:00	0,45	40	0,59	0,15	73,56	
1	02/09/2003	15:00	0,44	41	0,58	0,14	70,55	
1	02/09/2003	17:00	0,35	40	0,49	0,15	61,13	
1	02/03/2003	18:00	0,24	35	0,38	0,17	54,24	
1	03/09/2003	7:00	0,33	28	0,47	0,21	83,78	
1	03/09/2003	8:00	0,3	30	0,44	0,2	73,22	
1	03/09/2003	10:50	0,38	40	0,52	0,15	64,86	
1	03/09/2003	15:00	0,43	38	0,57	0,15	74,82	
1	03/09/2003	16:00	0,43	38	0,57	0,15	74,82	
1	03/09/2003	18:00	0,31	31	0,45	0,19	72,46	
1	07/09/2003	9:00	0,37	30	0,51	0,2	84,82	
1	07/09/2003	10:00	0,35	28	0,49	0,21	87,33	
1	07/09/2003	15:00	0,22	32	0,36	0,18	56,21	
1	07/09/2003	18:00	0,38	35	0,52	0,17	74,13	
1	08/09/2003	7:00	0,18	27	0,32	0,22	59,26	
1	08/09/2003	11:00	0,24	30	0,38	0,2	63,28	
1	08/09/2003	15:00	0,15	30	0,29	0,2	48,36	
1	09/09/2009	7:00	0,18	30	0,32	0,2	53,33	
1	09/09/2009	9:00	0,41	31	0,55	0,19	88,5	
1	09/09/2009	15:00	0,47	37	0,61	0,16	82,21	
1	09/09/2009	17:00	0,39	35	0,53	0,17	75,55	
1	09/09/2009	18:00	0,4	38	0,54	0,15	70,89	

Tabla 5-2: Planilla utilizada para la determinación de los caudales ingresantes a la actual planta depuradora.

Los elementos constituyentes de la planilla de datos son los siguientes:

- **Desarenador:** Se utiliza para conocer en cuál de los dos sedimentadores existentes se están realizando las mediciones.
- **Constante de área:** representa la sección correspondiente a la parte tronco – cónica del desarenador.
- **Variable de área:** representa la sección rectangular superior del desarenador que variará con la altura “h” de medición. En este caso se ha considerado que la altura es a partir de la pared vertical, descontando la parte tronco – cónica.
- **Longitud de medición:** Se adoptó una longitud constante para medir el tiempo que tarda la partícula en recorrer una distancia conocida.
- **Coeficiente de velocidad:** Se ha adoptado una relación entre la velocidad superficial y la media de 0,85, de acuerdo a las características del movimiento observado.
- **Desarenador:** Se refiere a si se está usando en 1 o el 2.
- **Día:** Fecha en que se realiza la medición
- **Hora:** hora en que se realiza la medición



- Altura líquida.
- Tiempo recorrido de la partícula: El operador mide el tiempo que tarda la partícula en atravesar la distancia preestablecida. Se recomendó que el elemento flotante de medición, se encuentre en el centro del desarenador o en sus proximidades para que sea válida la medición.
- Área: Con la altura que resulte de la medición se calcula el área.
- Velocidad superficial: Con el área y la longitud, se determina la velocidad superficial del líquido.
- Caudal: Se determina con la velocidad, la sección transversal líquida y el coeficiente de velocidad.
- Observaciones: Estas indican las características al momento en que se hace la medición. Por ejemplo: Clima: Frío, Caluroso o Templado. Día: Normal o de Turismo. Tiempo: Frío, soleado, nublado, lluvioso, seco, etc. En este caso reportaron tipo "normal con turismo". También indicaron que se encontraba sin funcionar una de las estaciones de bombeo al momento de la medición, por que esos datos no se tuvieron en consideración a los fines de la determinación de caudales y no fueron volcados en el presente informe.

Los caudales aforados pertenecen a la combinación de las dos estaciones de bombeo existentes. Para determinar los demás caudales se han establecido las hipótesis vertidas en la Tabla 5-3. Se consideró que la capacidad de bombeo era 1,15 veces superior al caudal máximo horario del sistema. Con eso se determina el caudal máximo horario, y utilizando los coeficientes máximo diario (1:1,30) y máximo horario (2:1,50) se determinan los caudales correspondientes. Relacionando al caudal medio con la población servida, se establece el vuelco unitario aparente por habitante (población estable + turismo).

Valor máximo =	88,5	L/s
Coefficiente de bombeo =	1,15	
Caudal máximo horario =	76,96	L/s
Caudal medio diario =	39,47	L/s
	3.410	M ³ /d
Caudal máximo diario =	59,2	L/s
	5.115	m ³ /d
Población Servida	10.538	
Vuelco unitario aparente	0,324	L/hab/d

Tabla 5-3: Caudales resultantes del aforo realizado en el mes de septiembre de 2003.

Para determinar la población permanente servida, se considera que la cobertura actual es del 83,2 %, incrementándose a un valor máximo del 95 % en el año 2006, cuando esté funcionando a pleno el nuevo barrio de 600 viviendas actualmente en construcción, que trasladará a la población que aun no fue evacuada de la cota de máxima de inundación del embalse de Salto Grande. Para determinar la cobertura, a la población actual se le ha restado la diferencia de los habitantes de las 600 viviendas, de la siguiente manera:



- Habitantes por vivienda = 3,55
- Población 600 viviendas = 2.128
- % Cobertura 2003 = (Población Total 2003 – Población 600 viviendas) / (Población Total)

5.3.2.2. Demanda del sistema

En la Tabla 5-4 se determina la demanda del sistema de acuerdo a los resultados que surgen del análisis del numeral anterior. Se ha supuesto que el vuelco unitario aparente se mantendrá constante, debido a que la demanda turística crecerá a un ritmo más suave, manteniendo una proporcionalidad constante con la población permanente.

Se ha establecido llegar a una cobertura del servicio del 95 %.

DEMANDA DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA DE DESAGÜES CLOACALES DE LA CIUDAD DE FEDERACION - PCIA DE ENTRE RIOS						
		2003	2004	2005	2006	2007
PARAMETROS BASICOS DE DISEÑO						
POBLACION TOTAL FEDERACIÓN	(hab)	12666	12866	13069	13275	13484
% POBLACION SERVIDA CON DESAGÜES CLOACALES	(%)	0,83	0,87	0,91	0,95	0,95
POBLACION SERVIDA CON DESAGÜES	(hab)	10538	11210	11901	12611	12810
VUELCO UNITARIO APARENTE	(L/Hab*d)	324	324	324	324	324
CAUDAL MEDIO DIARIO DOMICILIARIO	(m ³ /d)	3410	3627	3851	4081	4145
COEFICIENTES DE PICO:						
MAXIMO DIARIO		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
MAXIMO HORARIO		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
MAXIMO TOTAL		1,95	1,95	1,95	1,95	1,95
CAUDAL MAXIMO DIARIO DE DESAGÜES CLOACALES	(m ³ /d)	4433	4716	5006	5305	5389
CAUDAL MAXIMO DIARIO DE DESAGÜES CLOACALES	(L/s)	51	55	58	61	62
CAUDAL MAXIMO DIARIO DE DESAGÜES CLOACALES	(L/s)	77	82	87	92	94
MODULACION DE PLANTA						
CAPACIDAD INSTALADA INICIAL DE TRATAMIENTO	(m ³ /d)	4143	4143	4143	4143	4143
DÉFICIT / SUPERAVIT TRATAMIENTO INICIAL	(m ³ /d)	-290	-573	-863	-1162	-1246
AMPLIACION DE TRATAMIENTO	(m ³ /d)			2200	2200	2200
DÉFICIT / SUPERAVIT TRATAMIENTO	(m ³ /d)	-290	-573	1337	1038	954
CAPACIDAD TOTAL INSTALADA DE TRATAMIENTO	(m ³ /d)	4143	4143	6343	6343	6343

Tabla 5-4. Tabla de demanda y caudales.

5.3.3. Sistema elegido para ampliación de planta

Como parte del proceso de reacondicionamiento de la planta, de manera de suplir las carencias que el sistema presenta por el incremento poblacional además del evidente deterioro por haber llegado al cumplimiento de la vida útil en alguno de sus componentes, se propone cambiar el actual sistema de funcionamiento de la planta depuradora, variando los siguientes elementos, actualmente en construcción:



➤ *Cámara de Rejas y desarenadores:*

Se dejarán de utilizar los actuales por lo siguiente: Falta de rejas de desbaste al ingreso del sistema, falta de capacidad para absorber los caudales actuales y futuros, inadecuado sistema de extracción de arena, canaleta Parshall construida inadecuadamente, y que actualmente, trabaja ahogada.

➤ *Descarga de camiones atmosféricos:*

Actualmente se realiza ese proceso desde una plataforma de H°A°, donde simplemente vuelcan los camiones en una cañería hacia la planta.

➤ *Tanques de aireación antiguos:*

Cambiando la relación de recirculación a 2 (100 % de recirculación) se logra incrementar la capacidad depuradora de los actuales tanques. Para esto será necesario cambiar el sistema de aireación por uno de mayor capacidad y mejor eficiencia. Además reemplazar las bombas de recirculación existentes, por unas nuevas y de mayor potencia.

➤ *Sedimentadores secundarios:*

Se cambiarán los barredores actuales por unos nuevos y se colocará una nueva tubería entre los tanques de aireación y los sedimentadores para incrementar su actual capacidad hidráulica (diámetro 300 mm).

➤ *Digestores aeróbicos:*

Se los utilizará como espesadores de barro digerido estático, interrumpiendo el actual suministro de aire.

➤ *Estación de barro de recirculación:*

Se seguirá utilizando para purgar los dos espesadores existentes (actuales digestores aeróbicos) en caso de obstrucciones. Para ello, será necesario construir una nueva cañería que impulse hacia las nuevas playas de secado.

Todos los demás elementos de la planta, serán rehabilitados luego de la ejecución y puesta en servicio de la ampliación de planta detallada, de manera de no interrumpir el tratamiento.

Como parte de la ampliación del sistema se realizará a un proceso de aireación extendida que tendrá los siguientes elementos:

5.3.3.1. *Descarga de camiones atmosféricos:*

Se prevé construir una estación de descarga para camiones atmosféricos que contiene cámara de rejas para retención de sólidos, Figura 5-16, Figura 5-17, así también como un sistema de compuertas para la conexión de las mangueras de descarga, para minimizar el efecto de producción de gases en el ambiente y mejorar las condiciones de descarga.

5.3.3.2. *Cámara de Rejas y Desarenadores de Ingreso.*

Se ha previsto construir una Cámara de Rejas de limpieza manual y un Desarenador, Figura 5-18, que descargue el líquido de fondo para su deshidratación en dos nuevas playas de secado de arena a construir. Estas unidades, permitirán tratar el efluente del módulo existente y el nuevo.

El desarenador proyectado es una cámara de hormigón armado, de planta rectangular que incluye dos fondos, uno de ellos, el de más profundidad, posee pendiente de alrededor del 10 %, lo que produce el efecto de acumulación de aquellos sólidos que

decanten por peso específico y su escurrimiento a una cámara de salida; el otro posee un falso fondo permeable, que facilita la decantación de los sólidos y evita la remoción de los mismos por el efecto de circulación del efluente. La arena depositada será transportada con bombas desde una cámara de recolección del desarenador, hacia las playas de secado de arena.

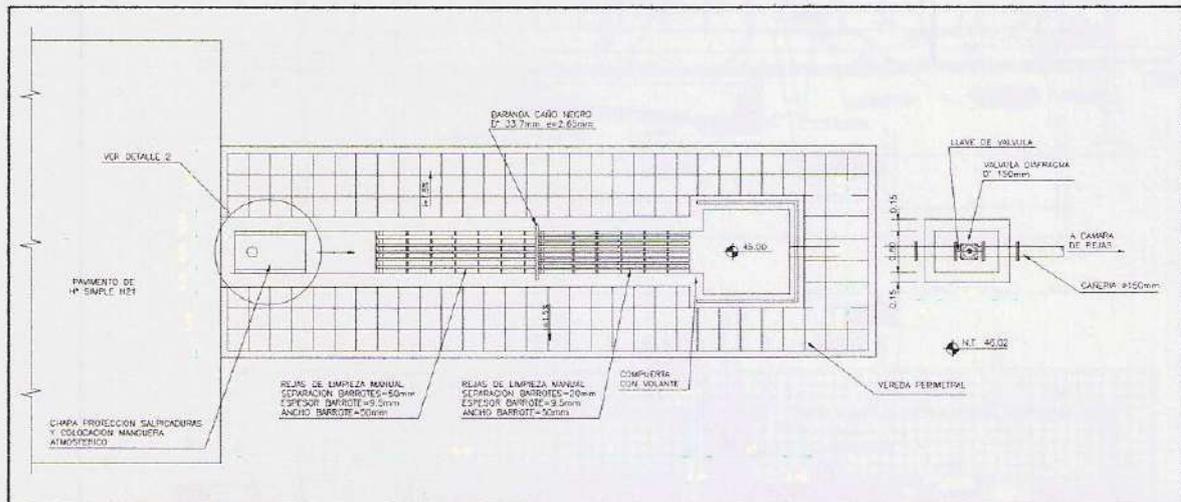


Figura 5-16. Esquema en planta de la descarga para camiones atmosféricos.

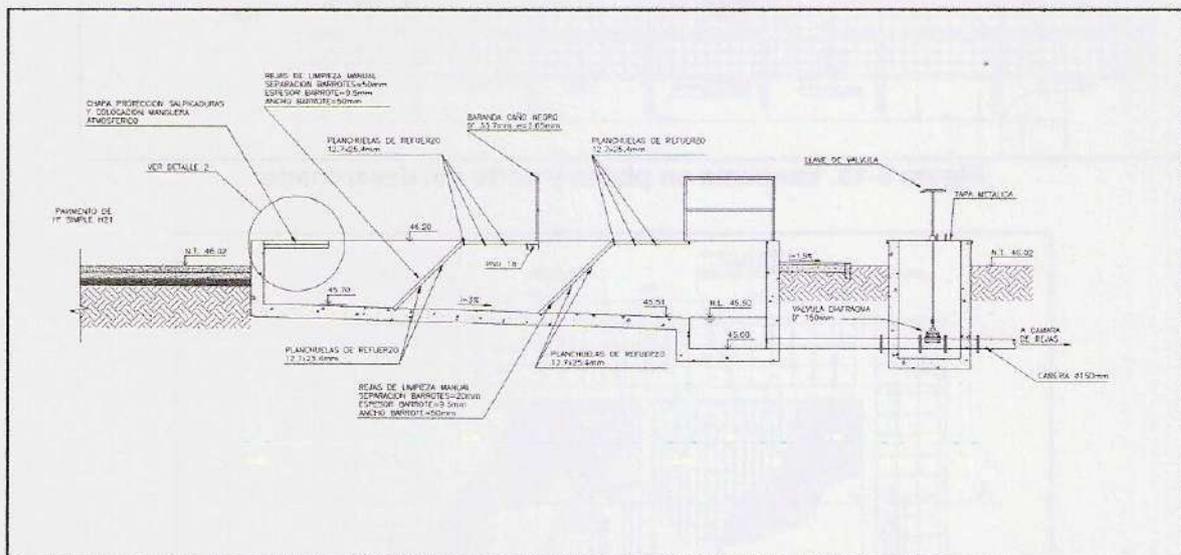


Figura 5-17. Esquema en corte de la descarga para camiones atmosféricos.

La playa de secado de arena, Figura 5-19, posee una composición similar a la playa de secado de barro. Está compuesta por una pileta de hormigón armado, con fondo constituido por una capa de gravas sobre el suelo natural, sobre ella una capa de arena de granulometría gruesa, y como losa de apoyo de arenas, un revestimiento de ladrillos comunes.

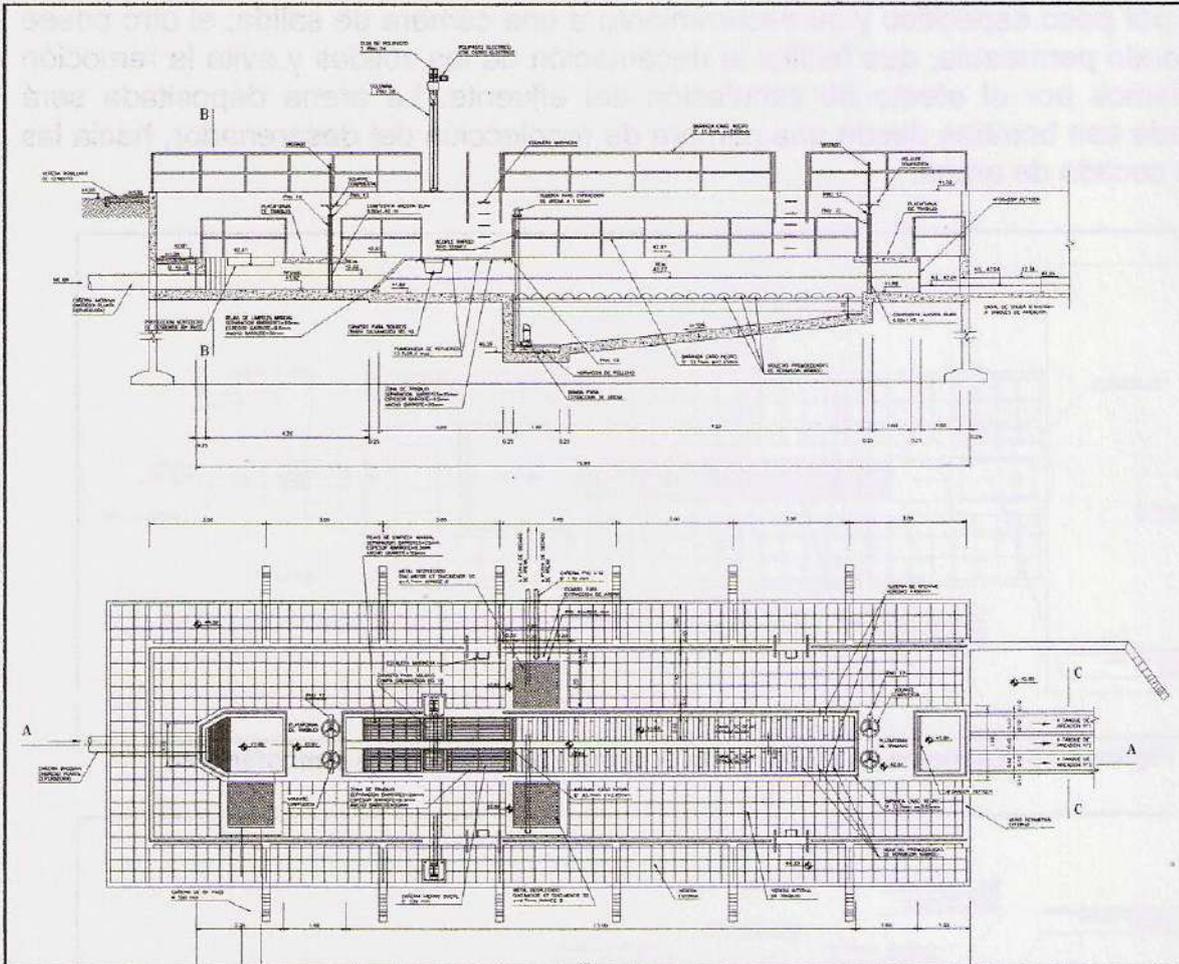


Figura 5-18. Esquema en planta y corte del desarenador.

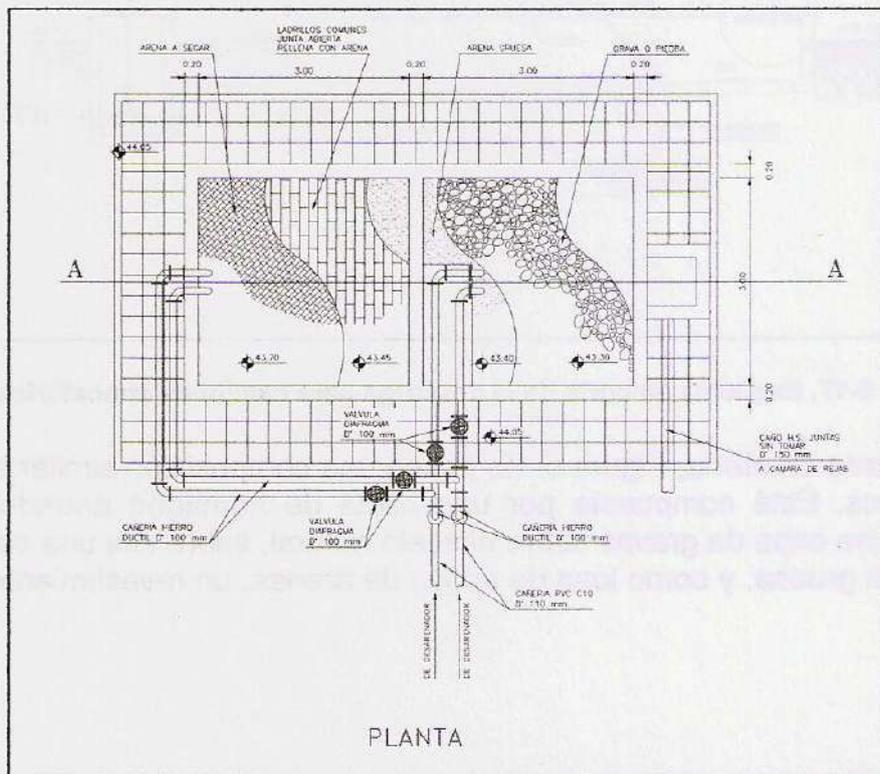


Figura 5-19. Esquema de la playa de secado de arenas.

5.3.3.3. Tanques de Aireación.

Se construyó como 1º Etapa de este Proyecto un nuevo tanque de aireación, Figura 5-20, en donde se cumple el proceso de aireación extendida, es decir, la digestión del líquido en conjunto con el barro a través de la oxigenación hasta lograr la fase de respiración endógena de las bacterias. Para esto se ha previsto una recirculación del líquido del 100 % del caudal de diseño. Para lograr esta finalidad deberán equiparse los Tanques de Aireación antiguos con nuevos Equipos Sopladores y grillas de distribución de aire con difusores de membrana elástica para la producción de microburbujas.

El tanque es de similares características físicas que el tanque de aireación existente, siendo estructuralmente de hormigón armado, con un ingreso único del flujo, y salida por rebose en el extremo opuesto. Esta nueva instalación contiene como sistema de aireación, moderno equipo de difusión de membrana elástica, que produce microburbujas en toda la extensión del área de la pileta de aireación.

La incorporación de este sistema de microburbujas mejora sustancialmente el proceso de oxigenación del efluente, asegurando la acción de los organismos aerobios que descomponen la materia orgánica. Por otra parte la nueva distribución de los difusores en planta asegura que no ocurra el problema acumulación de sólidos en las esquinas del tanque.



Figura 5-20. Esquema del tanque de aireación construido como inicio de obras de ampliación.



Figura 5-21. Imágenes del funcionamiento de los estanques de microburbujas.

5.3.3.4. Sedimentador Secundario.

Se ejecutará un nuevo sedimentador, Figura 5-22, Figura 5-23, que permitirá decantar el líquido antes de su descarga a la cámara de contacto y recolectar el barro de fondo que será recirculado al proceso, y el excedente de éste, enviado al nuevo espesador de barro.

El sistema empleado es similar al utilizado en el proyecto original, siendo un sedimentador con barredor de fondo de planta circular, de hormigón armado, que deposita los sólidos en el fondo, siendo removidos por el barredor hacia una tolva cónica que envía por medio de una estación de bombeo los barros a recirculación y a piletas de secado. Por otra parte la remoción de la parte líquida se hace por reboce perimetral en el sedimentador.

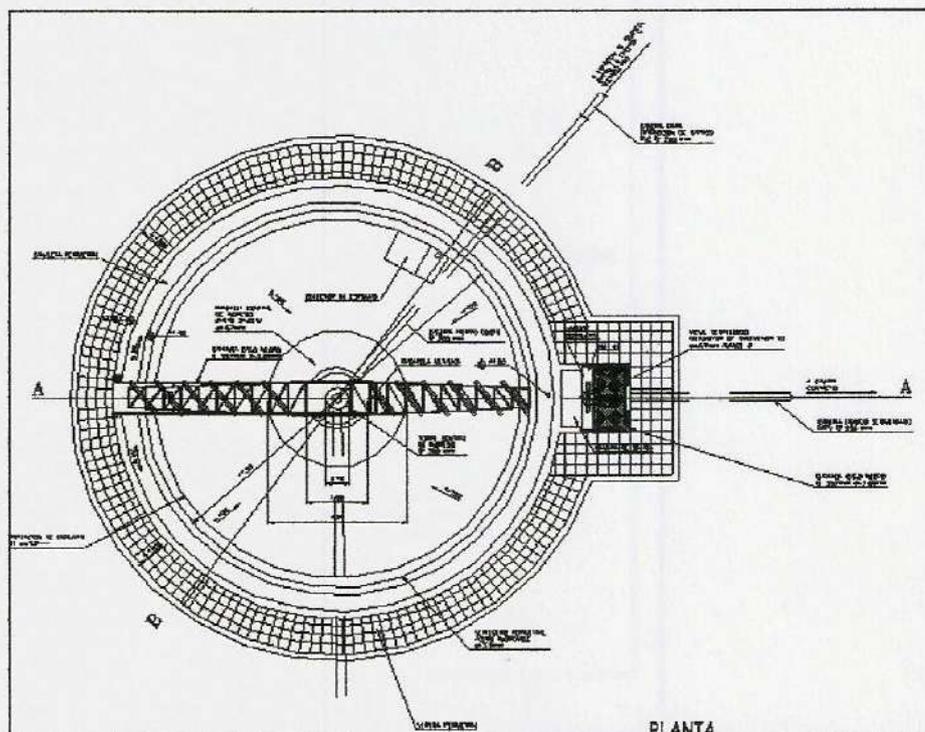


Figura 5-22. Esquema en planta del futuro sedimentador.

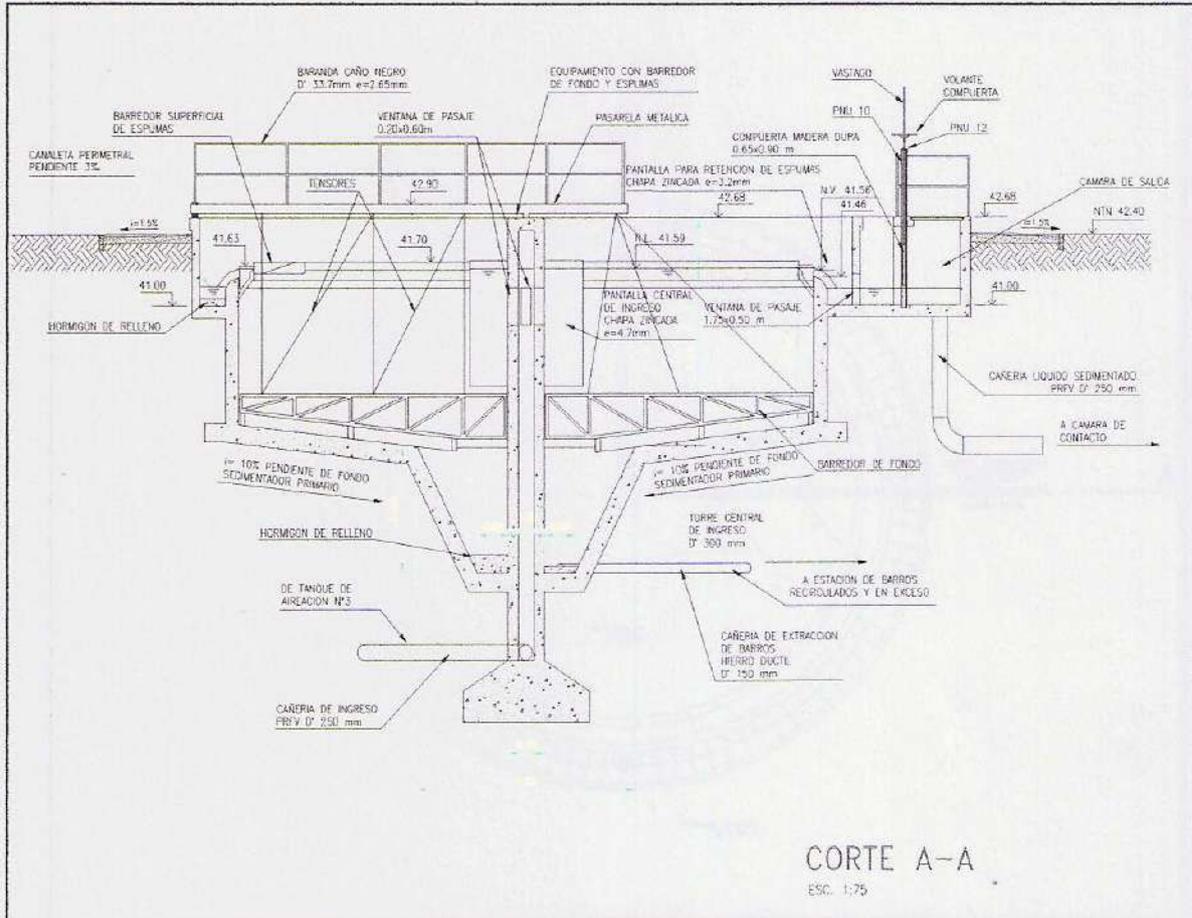


Figura 5-23. Esquema en corte del futuro sedimentador.

5.3.3.5. Espesador de Barro estático.

El espesador de barros elegido, Figura 5-24, presenta diferencias respecto del sistema de original, ya que este incorporaba un sistema de aireación, y el sistema a construir es una pileta cónica invertida, que recibe el fango de los sedimentadores, y lo deposita, realizando la separación de la parte sólida de la líquida por rebose superficial, a través de un canal perimetral de la pileta, y por otra parte se purga el barro a través de cañería situada en la parte inferior de la tolva de hormigón. La diferencia más importante es la separación de las partes sólidas y líquidas a través de la acción de la sedimentación por reposo del flujo y no por aireación.

5.3.3.6. Playas de Secado.

Estas playas de secado, Figura 5-25, serán dimensionadas para recibir el barro excedente de la planta depuradora, mejorando así el tiempo de retención de barros en este proceso, hasta alcanzar el tiempo necesario de reposo.

La instalación física que llevara adelante esta mejora en los procesos, son similares a las utilizadas en el proyecto original, y que funcionan con éxito en el tratamiento de barros. El único déficit registrado es el mencionado anteriormente respecto al escaso tiempo de detención de los barros en las piletas, que no alcanza generalmente el mes de estación.

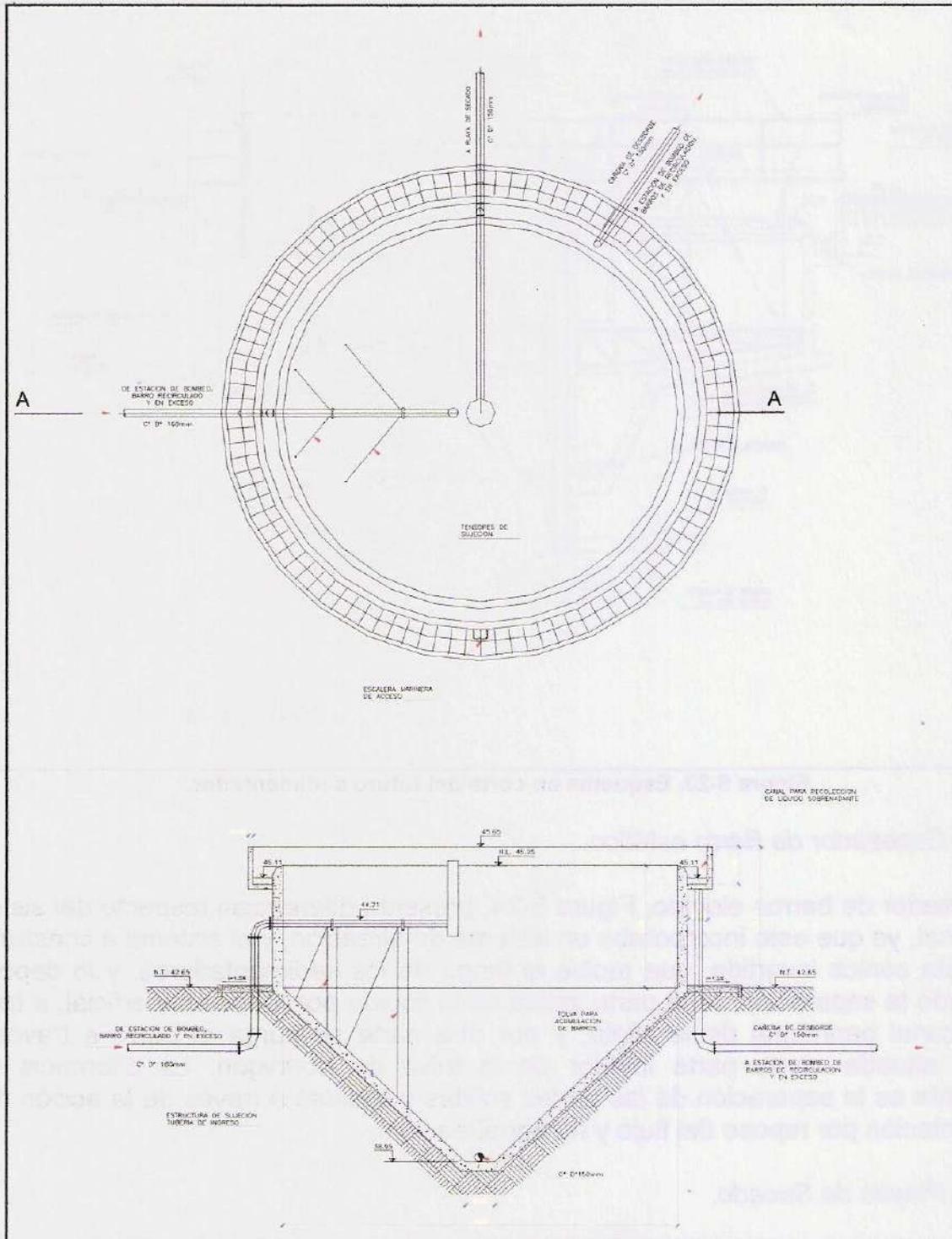


Figura 5-24. Esquema del espesador de barro a futuro.

Las playas son grandes piletas de hormigón, de planta rectangular, constituías por un lecho de grava, una capa de arena y como losa de terminación una capa de ladrillos comunes. Este conjunto asegura la filtración de la parte líquida respecto del sólido que será deshidratado por acción de la luz solar.

La parte líquida se recircula a las piletas de aireación para tratarlas nuevamente.

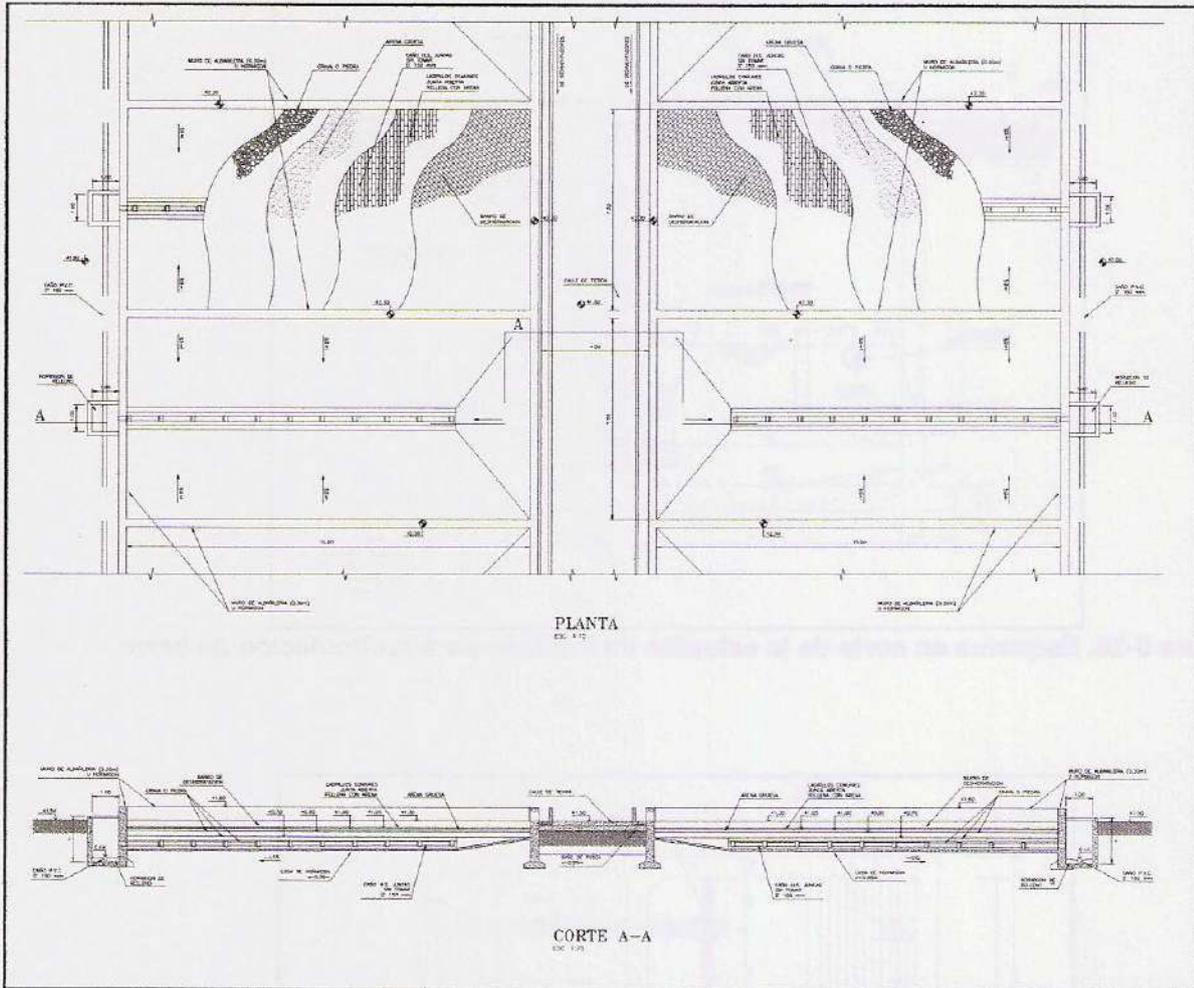


Figura 5-25. Esquema de las playas de secado a implementar.

5.3.3.7. Estación de barro de recirculación y en exceso.

Se construirá una nueva Estación de Bombeo, Figura 5-26, Figura 5-27, desde donde se impulsará el total de barro de recirculación (Módulo viejo y nuevo) hacia una cámara distribuidora que permitirá derivarlo a cada uno de los tanques de aireación existentes. Asimismo de esta tubería de impulsión general, se instalará una cañería de derivación hacia los espesadores de barros logrados a partir de la reconversión de las instalaciones existentes (actuales digestores aeróbicos que se convertirán para esta función) y hacia el nuevo espesador a construir, para poder purgar el barro en exceso del proceso.

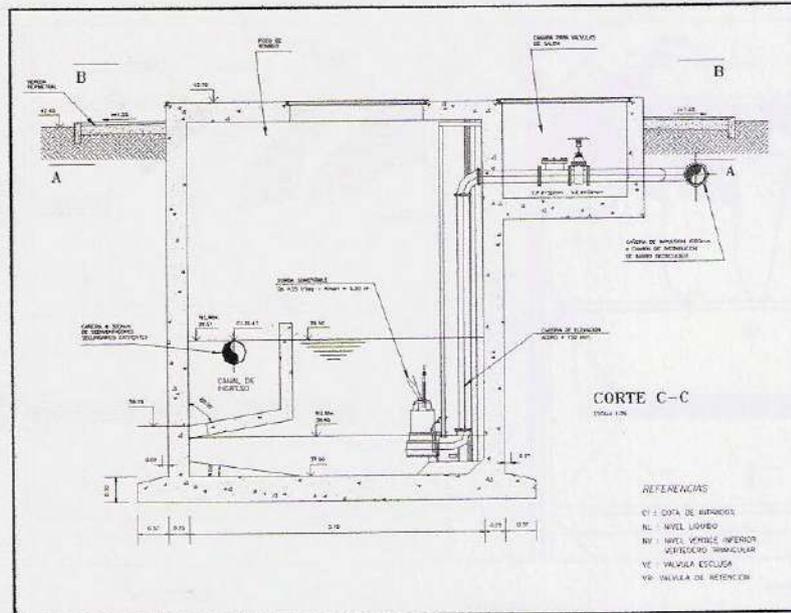


Figura 5-26. Esquema en corte de la estación de bombeo para recirculación de barro.

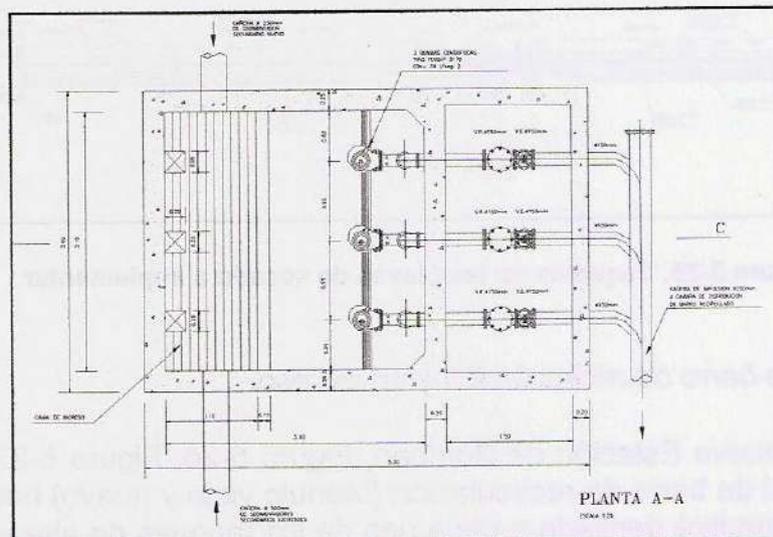


Figura 5-27. Esquema en planta de la estación de bombeo.

5.4. Análisis de funcionamiento de planta.

El correcto funcionamiento de este tipo de sistemas requieren especial atención en el mantenimiento del equipamiento y de aquellos controles que además de analizar la calidad del efluente tratado, dan parámetros para la puesta a punto del sistema

5.4.1. Mantenimiento.

En el análisis del mantenimiento de este tipo de plantas se debe tener en cuenta que estamos ante un sistema de tratamiento que demanda gran inversión en el funcionamiento de la misma, y por ende requiere de una inversión constante en mantenimiento. Cada etapa de este proceso de tratamiento posee una gran influencia en su funcionamiento de elementos mecánicos, y esto se da en el 100% de los

procesos. Así se debe tener en cuenta que el mantenimiento es vital para el funcionamiento del sistema, y en gran medida, este último está ligado al presupuesto asignado para la planta.

Analizando los problemas según cada elemento podemos establecer para cada uno lo siguiente:

5.4.1.1. *Descarga de camiones atmosféricos:*

El sistema existente presenta el gran problema de no contar con un sistema de conexión de las mangueras de descarga de los camiones atmosféricos a la cámara que recibe los efluentes, lo que genera un gas de carga contaminante que generalmente esta en contacto con los operadores del camión durante la descarga. Se debe destacar además que los operarios de los vehículos de descarga no cuentan en general con elementos de seguridad necesarios para la tarea que realizan, aunque no es un tema referido a la operación de la planta misma, los encargados de la misma deberían prestar atención en este procedimiento para asegurar que el proceso cumpla con la función resguardar la salud de la población.

Por otra parte el lugar de estacionamiento para la descarga, que se encuentra dentro del predio de la planta, no está debidamente delimitado de manera de impedir el ingreso de personas ajenas a la planta.

5.4.1.2. *Desarenador y cámara de rejas:*

El primer inconveniente que se presenta en el análisis del desarenador es la falta de las compuertas de regulación de entrada del flujo, Figura 5-29, tanto el que proviene de la red cloacal, como el de la descarga de camiones atmosféricos, lo que no posibilita la detención en la entrada del flujo por alguna emergencia.

A la inexistencia de las compuertas, Figura 5-28, se suma el hecho de que las guías de estas están completamente corroídas.



Figura 5-28. Imagen del estado actual de la cámara de rejas.

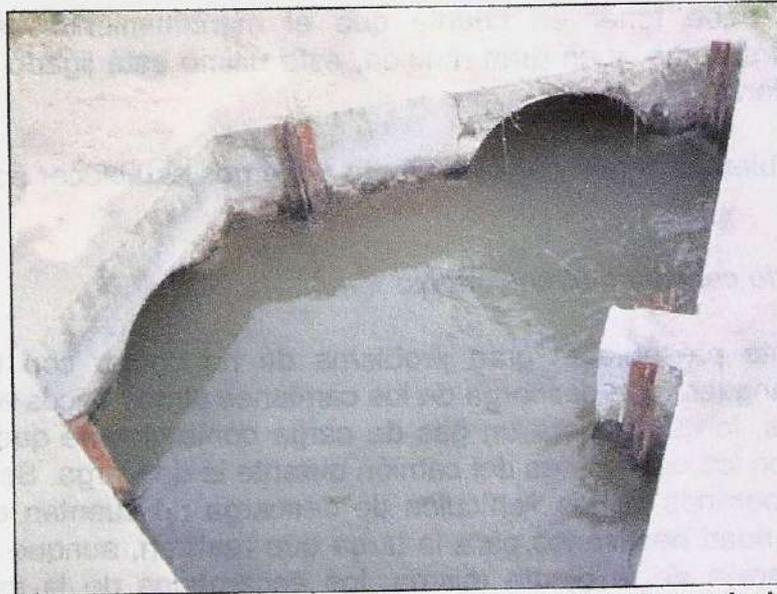


Figura 5-29. Imagen actual del by pass y de las compuertas de regulación de caudal.

El problema más importante que se registro en este proceso es la disposición de los residuos obtenidos de la cámara de rejillas, Figura 5-30, según lo observado y lo declarado por los operarios, el residuo es retirado de las rejillas, y es dispuesto en un foso abierto a un costado de la cámara, aunque como no es suficiente para el residuo retirado, el exceso se dispone directamente sobre el terreno, quedando expuesto hasta que se evapora el agua que contiene, y luego es embolsado y dispuesto con los residuos comunes. Si bien la carga contaminante de estos residuos se supone no es alta, debido a que son objeto gruesos, en su mayoría no degradables, deberían tener un lugar de disposición adecuados para no generar un foco de peligro.



Figura 5-30. Residuos extraídos de cámaras de rejillas.

5.4.1.3. Tanques de aireación

Los tanques de aireación presentan problemas de fisuración en las paredes perimetrales, lo que ocasiona filtraciones del efluente prácticamente crudo hacia el terreno circundante. Si no está garantizada la impermeabilidad del suelo inferior del predio de la planta, con la acumulación del efluente puede terminar por contaminar las napas freáticas del subsuelo. Este problema es típico de cumplimiento de la vida útil de la parte estructural, y su solución implica sacar de servicio los tanques para una reparación que implicaría mucho tiempo sin ser utilizados. Esto es imposible para a



planta de Federación, porque implicaría enviar el efluente crudo por mucho tiempo al lago Salto Grande.

Mecánicamente los tanques de aireación presentan el inconveniente del deterioro del sistema de inyección de aire. Originalmente el sistema funcionaba con aireadores mecánicos superficiales, de eje vertical, que se deterioraron alrededor de los diez años de funcionamiento, cumpliendo con su vida útil. El cambio por el sistema se debió a que los aireadores superficiales presentaban diariamente problemas mecánicos que los dejaban fuera de funcionamiento.

El sistema existente, era de aireación por picos difusores ubicados en el fondo de los estanques, pero su pronto deterioro, hizo que sean removidos, y se dispusiera una cañería de pvc, perforada en el estanque mismo, que genera las burbujas del proceso.

El tamaño de burbujas, por lo descrito antes, es excesivo, y la aireación del efluente no es tan efectivo, por lo que la incorporación de oxígeno pierde eficiencia depreciando el rendimiento del proceso.

Otro problema observado en estos estanque, radica en el hecho que reciben sólidos gruesos por la ineficiencia de la cámara de rejillas, que aparecen flotando en los estanques, y terminan por acumularse en las esquinas de las piletas, Figura 5-31, ya que son zonas muertas que no reciben aireación, y por lo tanto no hay circulación de la masa de agua, convirtiéndose en una zona de acumulación de residuos.



Figura 5-31. Acumulación de residuos en esquinas de tanques de aireación

5.4.1.4. Digestor Aerobio de Barros.

Esta pileta de sedimentación, tiene las mismas características de deterioro de las piletas de aireación, es decir, fisuraciones en las paredes perimetrales, Figura 5-32.

El derivador de caudales, Figura 5-33, que está presente entre estas piletas y las de aireación, se encuentra funcionando de manera correcta pero evidencia el deterioro propio de treinta años de servicio, con lo cual se debe pensar en renovar el sistema por uno más moderno o como mínimo cambiar el existente.

Otro aspecto importante es el vapor o gas que se genera durante la aireación del barro, que posee una carga contaminante muy fuerte y que no es especialmente tenida en cuenta respecto de la seguridad en esa zona de la planta.



Figura 5-32. Funcionamiento del digester de barros.



Figura 5-33. Derivador de caudales.

5.4.1.5. Sedimentadores.

Las instalaciones para sedimentación, Figura 5-34, presentan un gran número de partes mecánicas lo que ocasiona que el mantenimiento debe ser casi diario, ya que de quedar fuera de funcionamiento uno de los cuerpos de sedimentación el efluente debería seguir el proceso sin separación de sólido.

Los operarios de la planta manifiestan que el sistema de barredores suelen tener problemas mecánicos que dejan al equipo sin movilidad, y generalmente por la escases de presupuesto se demora varios días en terminar su reparación, lo que ocasiona la caída de calidad del efluente final.

Se observa además el deterioro lógico del paso del tiempo, es decir, las tolvas separadoras de espumas y los bordes perimetrales de separación de la fracción líquida, están corroídos y presentan la acumulación de sólidos pegados en las partes metálicas, Figura 5-35.



Figura 5-34. Equipos del sedimentador de barros



Figura 5-35. Estado de las tolvas de recolección de residuos de los sedimentadores.

5.4.1.6. Cámara de contacto y cloración.

El sistema de cloración, Figura 5-36, más allá de ser obsoleto, presenta inconvenientes con el mínimo mantenimiento que se le debería realizar, esto incluye por ejemplo, la limpieza de los equipos.

La sala de cloración, presenta problemas de corrosión, Figura 5-37, propio de los equipos en contacto con cloro, este deterioro ocasiona que no se tenga control completo de la cantidad de cloro suministrado.

Este lugar de administración del cloro, debería tener especial control sobre las condiciones de seguridad para la operación, por la toxicidad del cloro, pero esto no ocurre en absoluto, incluso la sala funciona con puertas abiertas durante el día.

Referido a la cámara de contacto, el agregado del cloro no debería ser por caída libre como se observa en la cámara, sino que debería ser inyectado en el efluente por una vena líquida inmersa en el fluido.

El funcionamiento de la cámara de contacto es bueno, verificándose esto en los resultados de muestreos realizados, siendo el problema más grave el exceso de caudal que ingresa, que hace que el flujo supere el laberinto interno por la parte superior, aumentando la velocidad de salida del flujo, sin garantizar el efectivo proceso de cloración.



Figura 5-36. Exceso de caudal en cámara de contacto.



Figura 5-37. Estados de los equipos de cloración.



5.4.1.7. *Playa de secado de barros.*

Las playas de secado presentan como mayor inconveniente de operación el proceso de extracción del barro disecado; debido a la alta carga contaminante que posee este barro, aunque presenta características de humus, es muy concentrado y en el contacto humano puede ocasionar problemas de salud. Esta tarea de extracción se realiza a mano, con palas y carretillas, y los operarios no presentan indumentaria especial para esta tarea, quedando expuesto al contacto con el barro.

El otro aspecto importante es la reducción en el tiempo de retención debido a la excesiva cantidad de barro que las piletas deben tratar, por lo que no se logra completar el proceso de deshidratación.

El sistema utilizado de piletas no presenta mayores inconvenientes, y el diseño del lecho de áridos y ladrillos, es utilizado aun en las plantas más modernas.

5.4.2. *Personal.*

La asistencia de personal en este tipo de sistemas es muy importante para asegurar el correcto funcionamiento de cada proceso durante todo el día. El personal a cargo debe ser idóneo y capacitarse de acuerdo a las exigencias de mantenimiento del sistema.

5.4.2.1. *Cuadrilla de Operación.*

La cantidad de personal estable de la planta de tratamientos, incluye dos ayudantes y un encargado para el turno diurno, y actualmente, no disponen de guardia nocturna para el operación de la planta. Los empleados no poseen capacitación en particular para ocupar este puesto, ya que por ser empleados municipales, generalmente son rotados continuamente a otras actividades. El caso particular del encargado de la planta, es la misma persona desde el inicio de operación de la planta, por lo que tiene registro de cada circunstancia que se ha dado en la misma, y además la particularidad de permanecer en el cargo a través del paso de los distintos gobiernos, le da indudable importancia a su testimonio.

5.4.2.2. *Tareas de mantenimiento.*

Expresan los operadores de la planta, que el deterioro en las instalaciones, si bien se puede adjudicar a la llegada del periodo de vida útil, se debe principalmente a la falta de política de mantenimiento, problema que se evidencia en muchas de las instalaciones visitadas. Manifiestan en sus declaraciones, que con un presupuesto constante para tareas de reparación, que no debe ser muy importante, la planta se mantendría en óptimas condiciones de operación. Contrario a esta circunstancia, muchas veces se deja hasta último momento las tareas de mantenimiento, que dan como resultado la salida de servicio de los equipos.

5.4.2.3. *Salud.*

Este tipo de plantas, que presentan procesos biológicos de transformación del efluente, requieren un control estricto sobre la salud de los operarios, incluyendo en esto,



controles sanitarios periódicos, y un calendario de vacunación preventivo, por la toxicidad del material que manejan. Los operarios manifestaron que se realizan chequeos anuales de salud, para ver si son afectados por los procesos, lo cual es insuficiente para detectar prematuramente problemas de salud que podrían agravarse entre chequeos anuales.

5.4.2.4. Seguridad.

Las medidas de seguridad más importante en la operación de plantas, son la utilización de indumentaria adecuada para el trabajo dentro de las instalaciones por parte de los operarios. Son inexistentes para el caso, y no cuentan con indumentarias especiales para el tratamiento con los efluentes. En particular la tarea de extracción del barro de las playas de secado, se realiza de manera muy riesgosa, ya que no utilizan ningún elemento de seguridad para realizarla, siendo el elemento a extraer de una peligrosidad muy alta por la carga contaminante que posee, siendo grave su manipulación de esta manera.

5.4.3. Residuos.

Este tipo de plantas de tratamientos genera por las características de la misma una cantidad importante de sólidos provenientes de cada proceso.

Así, de la cámara de rejillas y del desarenador, se obtiene sólidos gruesos inorgánicos, y material no biodegradable. No existe actualmente una playa de secados de arena, y tampoco hay un acopio de la misma en la planta, lo que denota que se extrae del proceso y es enviada para relleno. Esto trae aparejado del riesgo de devolver a la sociedad parte del material contaminante, que puede ocasionar problemas de salud.

Los residuos no biodegradables de la cámara de rejillas, simplemente se mantienen acopiado a un lado de la cámara, en contacto con el ambiente, y luego es retirado por los recolectores de residuos, que lo disponen en el basurero municipal.

El barro extraído de las playas de secado, Figura 5-38, se lo dispone en el mismo lugar donde se hallan las playas, y luego son enviadas como residuos comunes al basurero municipal. Si bien este barro debería ser inofensivo, puede ocurrir que por problemas del proceso, el tratamiento no sea total, conteniendo cargas contaminantes. Las características de este barro hacen que tenga características de humus, lo que sería muy útil para la fabricación de abono orgánico, que es la mejor forma de procesar un residuo en un elemento útil.



Figura 5-38. Extracción de residuos de las playas de secados.



Capítulo 6. Caracterización del sistema de tratamiento de efluentes cloacales de la ciudad de Chajarí.

En la lucha por la contaminación ambiental, Chajarí se destaca en la provincia por ser uno de los primeros municipios en llevar adelante la planta de tratamientos de residuos sólidos.

6.1. Características de la ciudad de emplazamiento

La ciudad de Chajarí es la última población de la provincia de Entre Ríos en el límite con Corrientes, y es una ciudad joven en relación a muchas de la provincia.

6.1.1. Ubicación geográfica

La ciudad de Chajarí se encuentra emplazada en la parte norte de la provincia de Entre Ríos, sobre la margen Este, aproximadamente a 20 Km de la costa del Río Uruguay y a 20Km de la Provincia de Corrientes. Presenta un paisaje ondulado que se ubica en la faja arenosa paralela a la margen derecha del río Uruguay.

6.1.2. Clima

Es caluroso y húmedo, pertenece a la categoría de Subtropical sin estación seca que abarca el norte de la Provincia de Entre Ríos. Presenta inviernos suaves y heladas poco frecuentes, con temperaturas en verano que oscilan entre los 21°C y los 33°C y en invierno entre 9°C y 18°C.

6.1.3. Población

Según datos del último censo nacional realizado por INDEC en 2001, la ciudad cuenta con una población total de 28.303 habitantes. Cuenta con red de cloacas y agua potable para toda la población, alcanzo niveles de servicio del 98% , lo que da como características que los sistemas de tratamientos de efluentes cloacales deben satisfacer la demanda total de la población.

6.1.4. Actividades económicas e industriales

La ciudad se encuentra ubicada en una zona citrícola por excelencia, por lo que la actividad principal está ligada a la citricultura, lo que incluye la industria mecánica, metalúrgica, e incluso aquellas relacionadas a la actividad citrícola, como empaques de citrus y empresas exportadoras. Desde hace ya ocho años, también se explota la actividad turística, dependiente del parque termal de Chajarí, y de los balnearios cercanos, convirtiéndose en los últimos años en una actividad muy lucrativa para la ciudad, pero aun no afianzándose como la actividad principal.

6.2. Características hidrográficas

La ciudad se encuentra emplazada en cercanías a la costa del Lago Salto Grande, y tiene como afluente principal hacia este al Arroyo Mocoreta, que recibe principales aportes del arroyo Chajarí y el Arroyo Yacaré, que son los cuerpos emisarios de los



efluentes cloacales en su vertido hacia el lago, Figura 6-1. En ambos casos, los arroyos tienen su paso por dentro de la ciudad, por lo que el estado de aguas, respecto a su calidad, es importante para la comunidad.

Ambos arroyos presentan caudal continuo, que se incrementa de manera importante, en días de lluvias, ya que son los puntos de escurrimiento de toda la cuenca que abarca la ciudad.

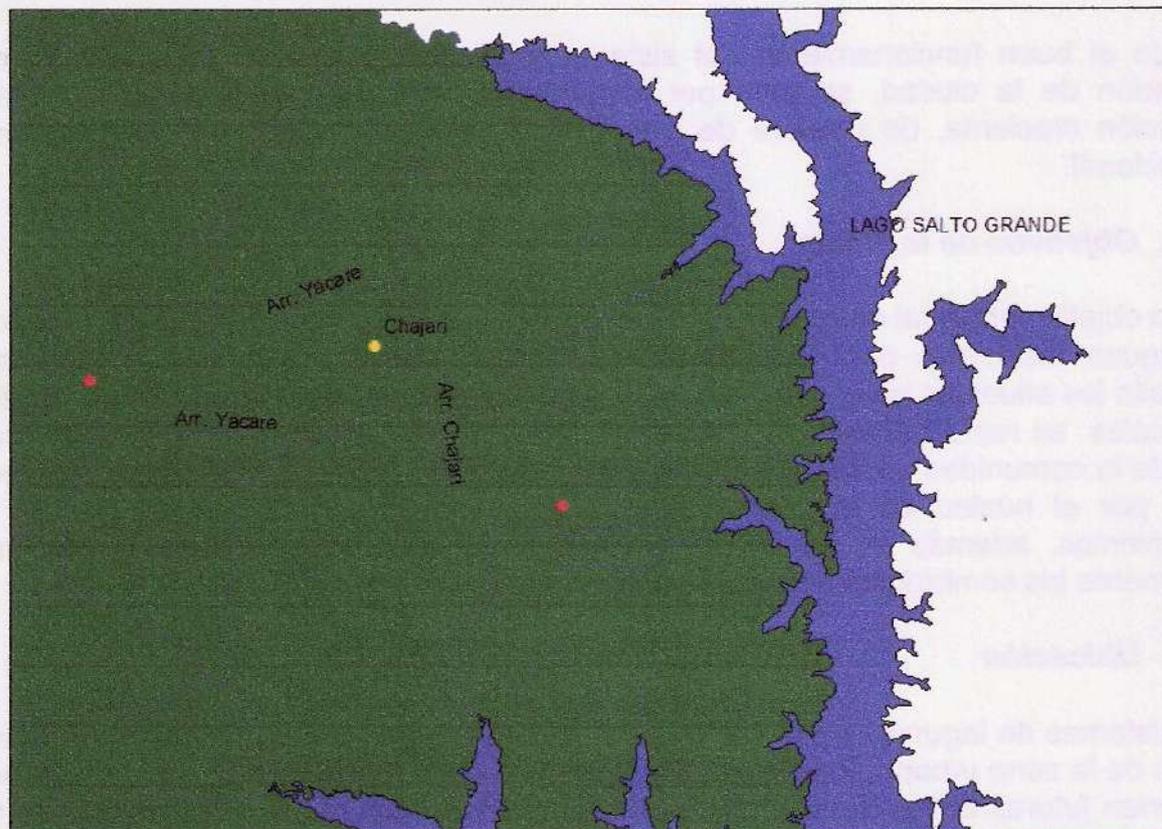


Figura 6-1. Ubicación de la ciudad de Chajari en referencia a los cursos de agua.

6.3. Antecedentes del tratamiento de aguas residuales

No existen registros del empleo de sistemas de tratamientos de los efluentes en la ciudad, por lo que se disponía en cada domicilio de un pozo absorbente para el vertido de los efluentes. Esto, además de ser altamente contaminante, respecto de las napas de agua adyacente, presenta características de depósito, que no tratan de manera alguna al efluente, ocasionando problemas sanitarios en la vivienda, y obligando a contar con sistemas de recolección por camiones sépticos, que luego vertían el efluente septizado en los arroyos circundantes, ocasionando un problema de contaminación aun mayor.

La importancia de eliminar el uso de pozos absorbentes se debe principalmente al hecho que la ciudad toma el agua para consumo de pozos de bombeo, por lo que debe ser muy importante evitar la contaminación de napas.



6.4. Sistema actual de tratamiento

Debido a la ubicación geográfica de la ciudad, y su cercanía a la costa del lago, se necesitaba un proceso de depuración de los efluentes cloacales con el objetivo de ayudar a sanear los principales arroyos que sirven de vía de transporte de los efluentes hacia el Río. Nace así como proyecto el primer sistema de tratamientos para la ciudad, constituido por una serie de dos lagunas de tratamientos, utilizadas en serie, donde se realizan procesos facultativos, aerobios y anaerobios, dando como resultado niveles aceptables de tratamiento respecto del efluente crudo.

Debido al buen funcionamiento del sistema empleado, y ante el crecimiento de la población de la ciudad, se optó por implementar otra batería de lagunas para la población creciente, de manera de tratar el efluente proyectado por el crecimiento poblacional.

6.4.1. Objetivos de la planta

Como objetivo principal del sistema de tratamientos de efluentes cloacales es recuperar las aguas residuales para su posterior vertido al arroyo receptor, que finalmente deposita los efluentes en el Lago Salto Grande. A pesar que la descarga de los líquidos residuales se realiza aguas abajo de la ciudad, y su vertido en el arroyo no afecta la vida de la comunidad, el tratamiento es necesario por el hecho que el cauce del arroyo pasa por el núcleo de la zona citrícola de la región, con lo que un vertido sin tratamientos, además de los inconvenientes en el lago y en el arroyo, afectarían seriamente los sembradíos de aguas abajo.

6.4.2. Ubicación

Los sistemas de lagunaje de la ciudad se encuentran ubicados en las márgenes oeste y este de la zona urbana, Figura 6-2, Figura 6-3, considerando que los lugares elegidos no serían futuras zonas de expansión urbana, aunque con el paso del tiempo, se han instalado asentamientos sobre el sistema de lagunas originales, en la margen oeste de la ciudad, ocasionando molestias en la población. El sistema este, aun se encuentra alejado de la zona urbana, en una zona que no supone crecimiento poblacional.

El sistema de lagunaje oeste, se encuentra en las cercanías del predio del antiguo basurero de la ciudad, mientras que el sistema este, está emplazado en terrenos linderos a la planta de tratamientos de residuos sólidos.

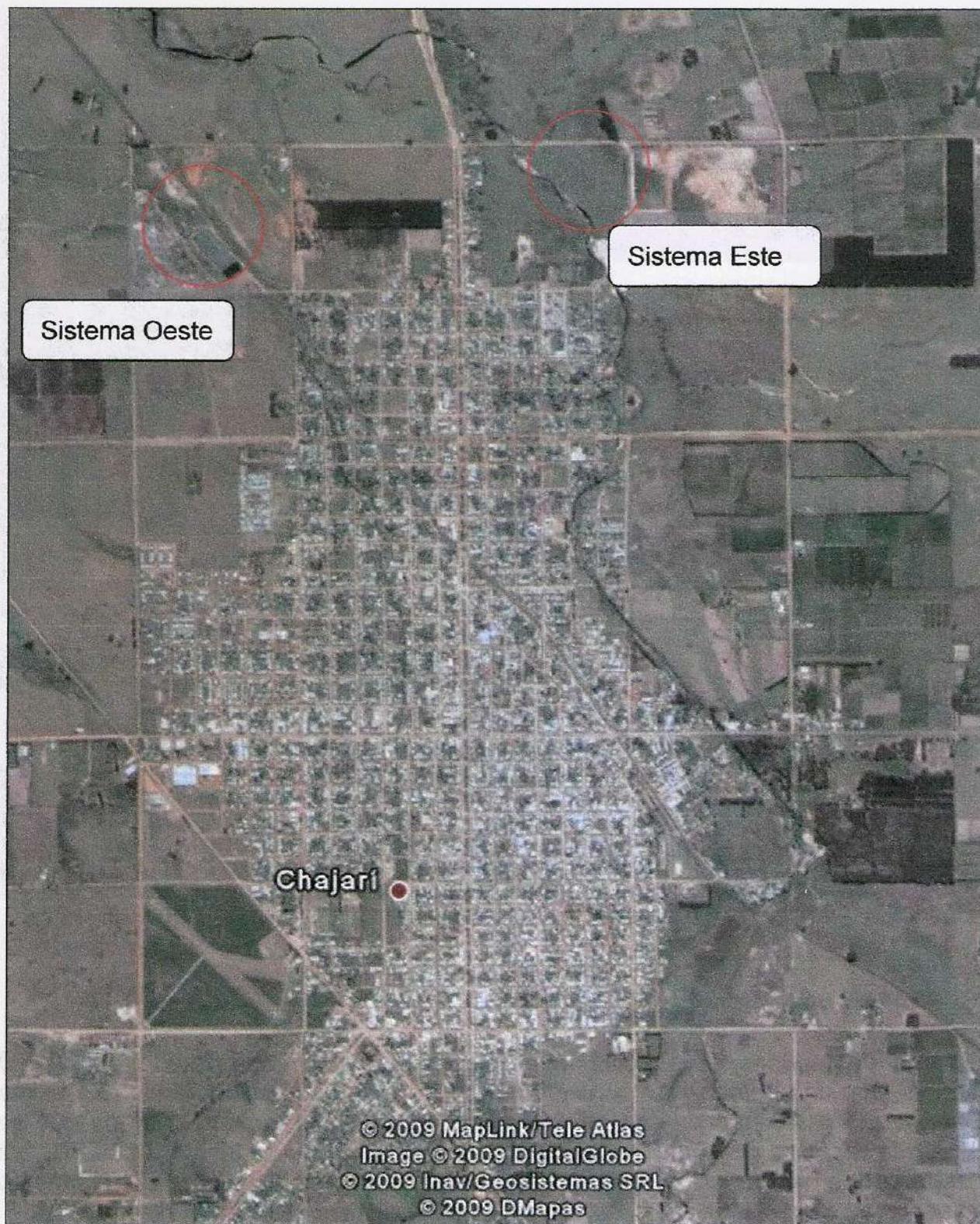


Figura 6-2. Ubicación de la ciudad de Chajari, zona urbana en relación a la ubicación de las lagunas.

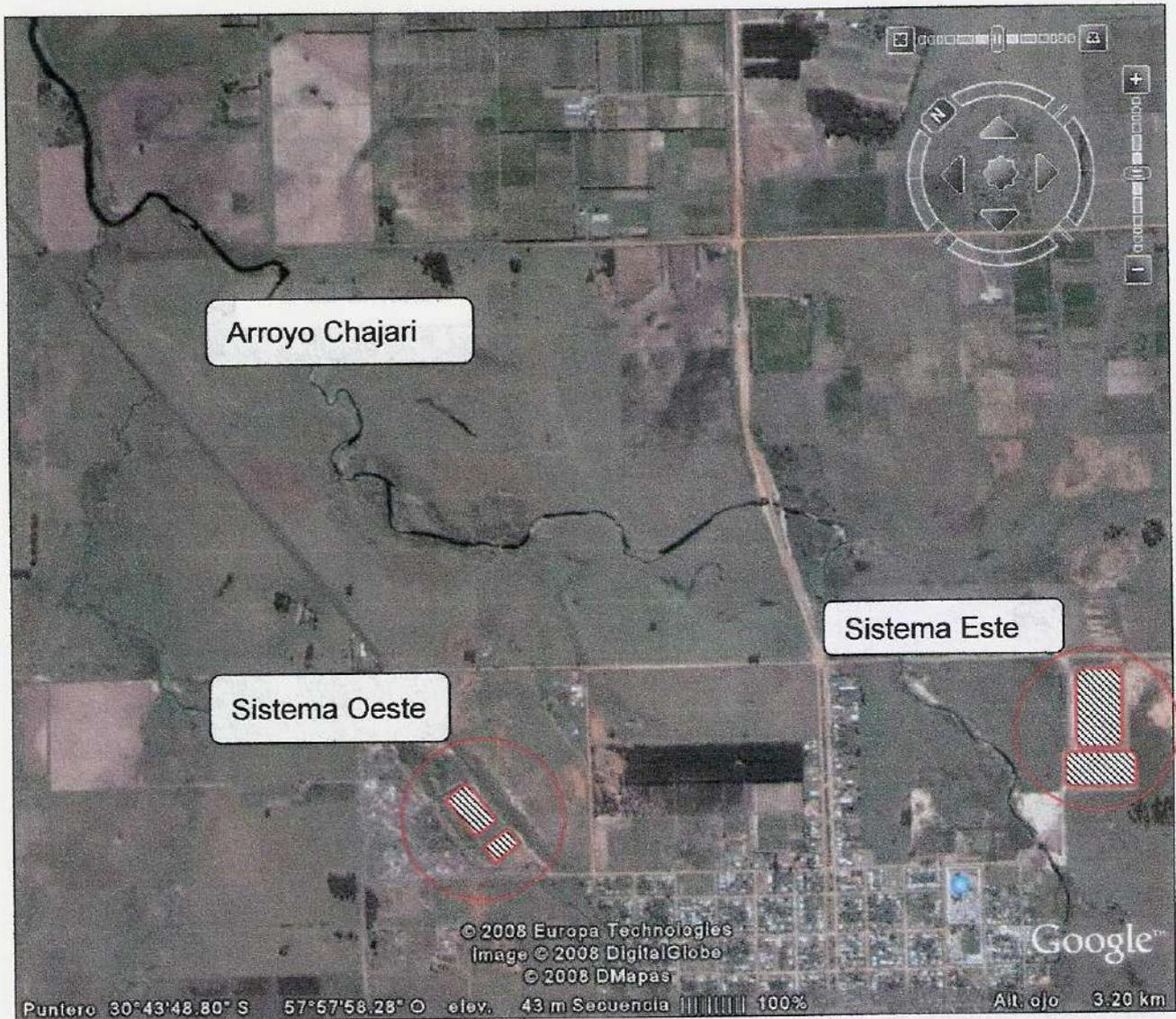


Figura 6-3. Ubicación de los sistemas de lagunajes, y del arroyo Chajari, cuerpo receptor.

6.4.3. Análisis poblacional y de diseño

El sistema de lagunas sirve actualmente a una población aproximada de 28.000 habitantes, con una dotación de consumo de 300 lts/hab.día, considerando que existe un 98% de población servida con servicio cloacal y de agua potable, por lo que se considera la totalidad de la población. El impacto turístico, no es tenido en cuenta, ya que el parque termal cuenta con sistema cloacal y filtros biológicos para el tratamiento del efluente, y es en el parque mismo donde se aloja el mayor porcentaje del turismo.

Cabe destacar que por las características de la distribución de la red colectora, se considera que el sistema Este como el Oeste, reciben 50% de la descarga de toda la ciudad, por lo que el total del efluente es repartido entre estos dos sistemas por partes iguales, según declaraciones de los responsables de área "Obras Sanitarias de la Municipalidad de Chajari".



6.4.4. Descripción de los sistemas

Los sistemas de tratamientos de lagunaje, o más conocidos como estanques de estabilización, básicamente cuentan con un estanque o laguna donde un proceso de tratamiento biológico estabiliza la materia orgánica.

También se conocen como tanques de oxidación, y son de uso frecuente para comunidades pequeñas, debido a los reducidos costos de construcción y de explotación, por lo que presentan una fuerte ventaja frente a otros métodos.

Por ser el método que mas asemeja el tratamiento natural para estabilizar el efluente, es el menos invasivo en una comunidad.

En el caso del sistema oeste, fue construido en las cavas de una antigua cantera de áridos que se encontraba en el lugar, por lo que el coronamiento de los estanque esta a nivel de terreno natural. Está formado por una batería de dos lagunas conectadas en serie, donde se llevan a cabo procesos anaerobios y facultativos.

Para el caso del sistema este, las lagunas fueron construidas con cota por sobre el nivel de terreno natural, lo que obligo a realizar terraplenamiento y sistemas de bombeos para alcanzar la cota de vertido, y el sistema es similar al utilizado el sistema Oeste.

6.4.5. Clasificación

Los estanques de estabilización se suelen clasificar en aerobios, anaerobios o una mezcla de ambos, conocidos como estanques facultativos; generalmente se han utilizado en unidades independientes, o actualmente en combinación de unidades. Así, los sistemas más utilizados suelen ser una combinación de estanques anaerobios y facultativos, y se emplean principalmente para aguas residuales domesticas.

El sistema elegido para el caso de la ciudad de Chajarí, es de una combinación de lagunas anaerobias seguida de un sistema facultativo, Figura 6-4, de manera de realizar el tratamiento completo en dos lagunas conectadas en serie, aunque lo más común es contar con lagunas de menores dimensiones pero en dos baterías paralelas, de manera de poder prescindir de una serie para limpieza o mantenimiento mientras que el otro continua funcionando. No es el caso de los sistemas adoptados, que solo están compuestos por una batería para cada sistema, lo que limita al vertido del efluente crudo sobre el cuerpo receptor, en caso de averías, o de tareas de mantenimiento.

FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
MONUMENTO HISTÓRICO NACIONAL
TEL/FAX: (03442) 425041 / 435803
Ing. PEREYRA 678 - ES2649 TD - CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
ENTRE RÍOS - REP. ARGENTINA



Figura 6-4. Esquema de los sistemas de lagunaje.

6.4.6. Diseño y datos de proyecto

Los estanques de estabilización se pueden conectar en serie o en paralelo para conseguir objetivos de tratamiento específico. La conexión en serie como es el caso de los sistemas empleados en la localidad de Chajari, reporta la ventaja en aquellos casos en los que es preciso un alto nivel de eliminación de la DBO, generalmente son más fáciles de proyectar, y requieren menor costo de construcción debido a que los movimientos de suelos suelen ser menores.

El proceso se inicia con una cámara que reciba el efluente de la red cloacal, y lo deriva directamente a la primera laguna, que es anaerobia, y luego por circulación natural pasan a la segunda laguna que es facultativa, finalizando en una estructura de salida hacia el cuerpo receptor.

6.4.7. Sistema Oeste

Este sistema es el más antiguo de los sistemas existentes, y es el que presenta mayor desperfectos en su funcionamiento, a pesar de la igualdad de los sistemas elegidos.

6.4.7.1. Estructura de entrada

Originalmente, contaba con una estructura de entrada que incluía una cuba de mampostería, dentro de la cual el fluido circulaba por un laberinto de dos canales, para aquietar el flujo y de esa manera separar a través de una pequeña cámara de rejas los



sólidos más gruesos del resto del efluente. Actualmente, el deterioro de esta cámara es total, y durante el tiempo para la investigación para este trabajo estaba destruida en su totalidad, presentando fisuras que ocasionaban filtraciones de efluente en los alrededores de lugar.

Desde la cámara mencionada, el efluente se conduce por cañería subterránea hasta el interior de la laguna facultativa, hasta dos metros de separación desde el borde de la laguna, y vertiendo a través de un caño vertical, que mantiene un tirante líquido constante.

6.4.7.2. *Estanque Anaerobio*

El estanque anaerobio, Figura 6-5, está construido sobre la base de una excavación de cantera para la extracción de áridos, y que asegura la impermeabilidad del suelo de fondo del estanque, según lo informado por las autoridades de Obras Sanitarias de la Municipalidad.

Posee una profundidad aproximada de tres metros, y una superficie de 3600 m² o 0,36 ha, lo que se logra con un estanque de 40 metros por 90 metros, parámetros que están mínimamente por debajo de los rangos establecidos por la bibliografía existente, que recomienda una superficie de entre 0,4 y 0,8 ha. y una profundidad entre 2,4 y 4,8 metros. [Ingeniería de aguas residuales, Metacalf & Eddy, Capítulo 10.8]

Como el proceso de estabilización es por acción natural, no posee ningún elemento mecánico para su funcionamiento, llevando a cabo el proceso durante un tiempo de retención de veinte días aproximadamente, aunque no es un valor que se pueda comprobar en las visitas al sistema.

Los estanques anaerobios se caracterizan por producir olores desagradables cuando las cargas hidráulicas que recibe son muy grandes, por lo que deberían estar rodeados de cortinas de arboles para mitigar el impacto, situación que no se contempla en este caso.

Otro aspecto importante es el vallado perimetral de la zona de planta o al menos de la zona de lagunas, para asegurar la seguridad en el lugar, deficiencia que se detecta en este caso.

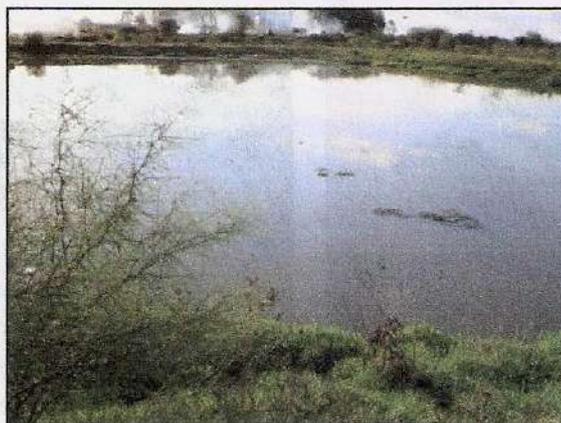


Figura 6-5. Imagen actual de estanque anaerobio.

6.4.7.3. Estanque Facultativo

Este estanque presenta profundidades menores que el descrito anteriormente, alcanzando una cota de 1,60 metros para garantizar las fases de tratamiento anaerobio, facultativo y aerobio, Figura 6-6.

Es una laguna que presenta una planta rectangular de 75 metros de ancho por 170 metros de longitud, que representa una superficie de 12.750 m² o 1,27 ha., enmarcándose dentro de los parámetros admisibles que brinda la bibliografía, que establece superficies entre 0,80 y 4 ha., y profundidades entre 1,2 y 2,4 metros. [Ingeniería de aguas residuales, Metacalf & Eddy, Capítulo 10.8]

El tiempo de detención del efluente dentro de este estanque debería alcanzar un valor cercano a los diez días.



Figura 6-6. Imagen del estanque facultativo.

6.4.7.4. Estructura de salida

La salida de los efluentes hacia el cuerpo receptor se realiza a través de cañería de hormigón armado de 400mm de diámetro, Figura 6-7, que terminan directamente sobre la margen del arroyo, pero por sobre una altura de dos metros del nivel del tirante líquido del arroyo, ya que está situado en un barranca a la vera del arroyo. No existe estructura alguna para disipar la erosión que produce la caída del efluente de las lagunas sobre el arroyo.



Figura 6-7. Imagen actual de la estructura de salida y del cuerpo receptor.

6.4.8. Sistema Este

Este sistema entro en funcionamiento en el año 2005, por lo que no presenta tantos problemas en su funcionamiento como el sistema oeste que es el original.

El sistema combina una laguna anaerobia con una facultativa, conectadas en serie.

A diferencia del sistema explicado anteriormente, el efluente es recibido a través de una estación de bombeo para alcanzar la cota de ingreso a la laguna anaerobia.

6.4.8.1. Estructura de entrada

La estructura de entrada, Figura 6-8, está compuesta por una cámara quietadora, conectada a un caño de pvc que directamente vuelca sobre la laguna anaerobia, sobre una plataforma de hormigón, para disminuir el efecto de erosión y remoción de los sólidos sedimentados por la caída del efluente, por lo que además se asegura que la cota del efluente se encuentre en todo momento a una distancia máxima de caída desde el caño de vertido de 25 cm. Esta cañería de vertido, se extiende hasta una longitud de 1,50 metros dentro de la pileta, para favorecer la distribución del efluente, y se inserta desde una de las esquinas opuesta a la salida hacia la laguna facultativa.

En este caso la estructura no cuenta con un sistema de desbaste de solidos grandes, ya que se realiza en la estación de bombeo que impulsa el efluente hasta la laguna.



Figura 6-8. Estructura de entrada.

6.4.8.2. Estanque Anaerobio

Está construido sobre el terreno natural, a través de un terraplenado artificial, y un compactado del suelo natural para impermeabilizarlo y evitar la filtración a las napas freáticas.

Es un estanque rectangular, Figura 6-9, de 90 metros por 200 metros, con una profundidad de 3,50 metros y una superficie de 18.000 m² o 1,8 ha, que excede lo aconsejado por las bibliografías citadas anteriormente.

La característica de altura de los terraplenes hace más importante aun la delimitación perimetral del predio para evitar accidentes, pero esto es inexistentes.

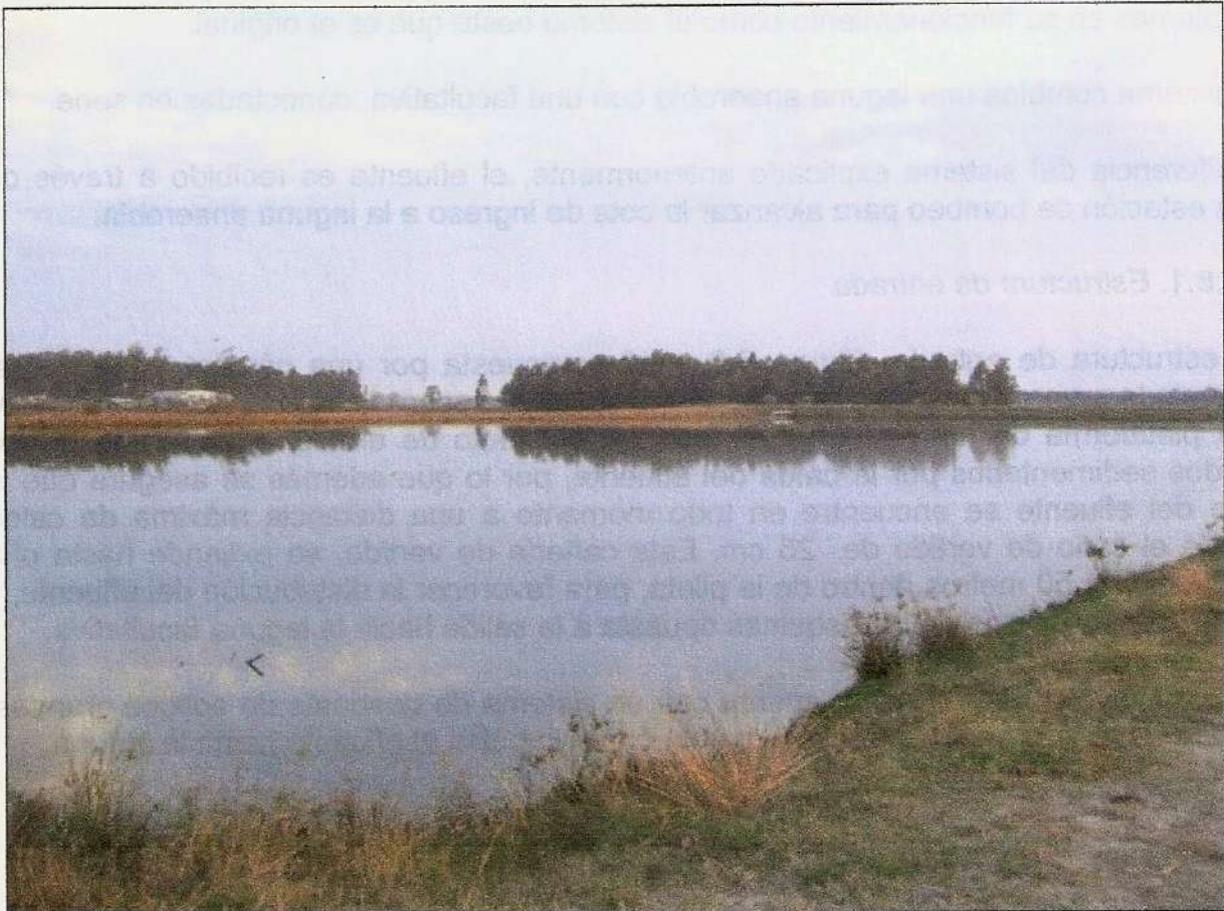


Figura 6-9. Imagen del estanque anaerobio, sistema este.

6.4.8.3. *Estanque Facultativo*

Este estanque posee una profundidad menor que el anterior, alcanzando 1,50 metros de cota. Presenta planta rectangular de 150 metros de ancho por 280 metros de largo, lo que da un espejo de agua de 42.000m² o 4,2 ha que necesitan especial atención en el mantenimiento.

Como se analiza para el estanque anaerobio, la superficie del estanque facultativo excede la recomendada por la bibliografía, con lo que sería de mayor conveniencia construir dos baterías de lagunas separadas.

Al igual que el resto del predio presenta ausencia de delimitación para prohibir el ingreso de personas ajenas.

La interconexión de las lagunas anaerobias y de las facultativas se realiza por medio de un sistema de doble cañería de pvc, Figura 6-10, que toma el efluente de la primer laguna, por debajo del tirante liquido, y lo vuelca en la laguna facultativa por sobre 80 centímetros del pelo de agua, siendo esta cañería extendida hasta tres metros dentro de la laguna para evitar sedimentos en las esquinas.



Figura 6-10. Imagen de la cañería de interconexión y del estanque facultativo.

6.4.8.4. Estructura de Salida

El efluente tratado es captado por un conducto vertical, por rebose, en la esquina opuesta a la del conducto de interconexión, y es enviada por cañería a la estructura de salida, situada sobre el arroyo, donde el caño realiza una descarga libre, sobre un canal de hormigón, que aquietta el flujo y disminuye el proceso erosivo del efluente sobre el arroyo, Figura 6-11.



Figura 6-11. Estructura de salida.



6.4.9. Problemática de su funcionamiento

Particularmente como los sistemas están constituidos por estanque a partir de terraplenes o coronamientos sobre terreno natural, el principal problema es la erosión de taludes provocada por el agua de las precipitaciones, que intenta escurrir hacia el interior de los estanques por la mala pendiente que existe en los coronamientos.

Otro problema importante es el crecimiento de malezas sobre los bordes de las lagunas que tienden a avanzar sobre el nivel del agua. Si bien el deterioro no ha sido muy agresivo, se observaron en ambos sistemas, el comienzo de crecimiento de malezas de raíces profundas, que pueden terminar por penetrar las paredes laterales de los estanque debilitándolos.

La eutrofización, Figura 6-12, que es uno de los problemas más comunes en estos sistemas, no se registra en el sistema este, ya que además de su buen funcionamiento, tiene un tiempo de vida relativamente corto. Indicios de aparición de algas se da solo en algún sector de esquina, que se confunde con la maleza exterior que se extiende hasta el pelo de agua.

En el caso del sistema oeste, el proceso esta avanzado, alcanzando una cobertura de algas del 50 % de la superficie, para el caso del estanque facultativo, detectando que sea genera el proceso sobre las esquinas de las lagunas y avanza hacia el centro. Si bien se llevan a cabo algunas tareas de remoción de plantas acuáticas superficiales, el proceso de eutrofización no cesa, dando como resultado una laguna que convive con las plantas acuáticas y que caracteriza así el color verde del efluente final.

En el caso del estanque anaerobio del sistema oeste, no hay mucha presencia de plantas acuáticas, pero si gran proliferación de algas, lo que indica que el proceso bacteriano anaerobio se ve afectado por la presencia de oxígeno. Además una de las características de este tipo de estanques anaerobio debe ser la ausencia de flora, para evitar la oxigenación de la colonia bacteriana.



Figura 6-12. Eutrofización, acumulación de algas en estanques. Sistema Oeste.

La acumulación de fangos o barros que se da en este tipo de sistemas requiere que luego de determinado periodo de vida del sistema, se extraigan los barros para que el tirante líquido no disminuya y se deteriore el proceso bacteriano. Actualmente no se

realiza extracción de barros y no se tiene previsto ejecutar esta tarea de mantenimiento en ninguno de los sistemas.

Para poder ejecutar mantenimiento y tareas de reparación correctamente, los sistemas se deben diseñar en paralelo para poder trabajar de manera discontinua en el momento de realizar estas tareas. No es el caso de estos sistemas que son baterías únicas, lo que conduce al problema que estando fuera de funcionamiento el efluente es vertido crudo al cuerpo receptor hasta subsanar los problemas de mantenimiento.

6.4.10. Mantenimiento.

Una de las características principales de este tipo de sistemas de tratamientos por lagunaje, es su bajo mantenimiento. Se suele confundir el bajo mantenimiento con el nulo, siendo evidente en algunos aspectos como es el mantenimiento de la maleza.

6.4.10.1. Sistema de tratamientos Este

Este sistema tiene poco tiempo de utilización, y a pesar de esto los taludes se están viendo deteriorados por el agua de lluvia, aunque todavía no es significativo el deterioro, podría serlo en un tiempo breve.

Se observo además que la estructura de entrada, Figura 6-13, tiene el caño de descarga roto, y se lo extrajo, quedando la caída del efluente fuera de la protección de erosión, lo que ocasiono que la descarga se realice antes de la platea de hormigón que actuaba de protección, levantándola y rompiéndola por completo, generando como problema adicional la acumulación de sedimentos en la esquina del ingreso



Figura 6-13. Imagen de la rotura de la cañería de entrada en lagunas de sistema Este.

Cabe destacar que el efluente que llega a las lagunas Este, son bombeadas para alcanzar el tirante hidráulico, a través de una estación elevadora que se encuentra en el mismo predio. Durante el tiempo de redacción de esta investigación, las lagunas estaban sin ingreso de caudal, ya que las bombas de la estación estaban fuera de servicio y no existía sistema de apoyo.

El predio de ubicación de las lagunas, no posee alambrado perimetral, por lo que es común encontrar habitantes circulando por los taludes, lo que genera un peligro para la población. Por otra parte, este sistema de lagunaje está en un predio contiguo a la planta de tratamientos de residuos sólidos urbanos, y la suma de los procesos dejan como saldo que en determinados días, se sienta en barrios adyacentes cierto olor



nauseabundo que mayormente provienen de la pileta anaerobia, y no se tuvo prevención en plantar cortinas de arboles para minimizar el efecto.

6.4.10.2. Sistema de tratamientos Oeste

Presentan un deterioro muy importante, desde todo punto de vista. Los taludes prácticamente han desaparecidos, si bien las lagunas están enterradas respecto del nivel natural del suelo, los taludes de protección son inexistentes, quedando sin delimitar la superficie de los estanques, y se han deformado en su forma superficial con el paso del tiempo.

La maleza ha invadido completamente las lagunas, con incluso crecimiento de arbustos en sus bordes.

La estructura de entrada es obsoleta, siendo un caño que ingresa por fondo a la pileta y surge vertical en su interior por donde vuelca el líquido, que se encuentra fuertemente deteriorado. La cámara de rejillas o estructura de retención de sólidos está inutilizada, y durante el tiempo que duro esta investigación está destruida, y se daban por comenzadas las fases de reparación, pero no de la puesta en funcionamiento de la cámara de rejillas, Figura 6-14.

Este desperfecto produjo durante considerable tiempo, el vertido del efluente crudo en terrenos linderos al de ubicación de las lagunas, invadiendo de olor nauseabundo los barrios que se encuentran asentados en las cercanías.

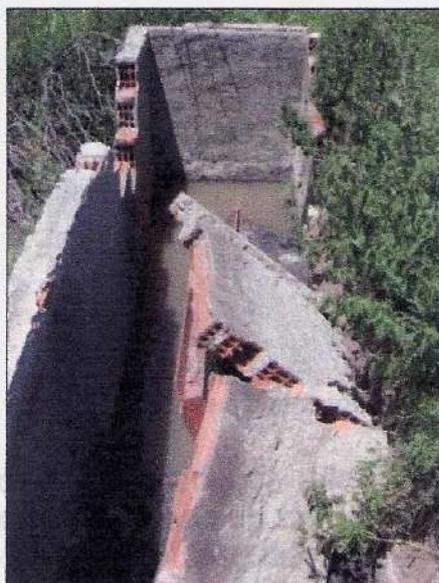


Figura 6-14. Imagen de la rotura de la cámara de ingreso. Escape de efluente crudo.

La estructura de salida, se compone por cañería de hormigón, que vuelca en caída libre sobre el arroyo receptor, ocasionando la erosión del curso de agua de una manera muy agresiva, ya que posee una altura de caída de aproximadamente 3 mts.

No existe alambrado perimetral, ni iluminación en el predio, y está inmerso en la zona urbana, de tal manera que ha quedado a escasos metros de dos barrios, lo que



ocasiona olores molestos en la población y la peligrosidad propias del contacto habitual. Es normal encontrar en el predio animales, incluso vacunos que muchas veces consumen el agua de las lagunas.

6.4.11. Personal

No presenta grupo de personal estable para el sistema de lagunas. El personal de obras sanitarias generalmente es el encargado de controlar el funcionamiento de las lagunas, así como las estaciones elevadoras del efluente cloacal.

Generalmente las tareas de mantenimiento están limitadas al mantenimiento de la maleza en condiciones, y de la limpieza del predio de lagunas.

6.4.12. Residuos

El principal agente productor de residuos en un sistema de lagunaje es el sedimento de fondo que se produce en ellas, pero además se debería tener en cuenta el producido por una cámara de rejas ubicada en el ingreso de efluentes. En el caso del sistema oeste la inexistencia de la cámara de rejas posibilita el traspaso de sólidos de gran tamaño a las lagunas, que se observan flotando sobre la superficie, y que no son removidas por lo que potencia la producción de barros de fondo.

En el sistema este, el proceso de sedimentación se supone menor, principalmente debido al hecho que la gran mayoría de sólido grueso es extraído por las cámaras de rejas de la estación elevadora de efluentes que sirven de impulso del líquido residual hacia la laguna, aunque no hay registro de la limpieza del mismo.

6.4.13. Presupuesto

El tratamiento de los residuos que genera la comunidad de Chajari ocupa un lugar importante para el gobierno actual, que ha puesto en funcionamiento la planta de tratamiento de residuos sólidos para mitigar el impacto que el antiguo basurero a cielo abierto generaba. Referido al tratamiento de los efluentes cloacales, ha puesto en funcionamiento el sistema de lagunas Este, repitiendo el tipo de sistema existente, Oeste, con los cuales logra tratar el total de los efluentes producidos por la comunidad, según declaraciones de los responsables del área de obras sanitarias.

FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
MONUMENTO HISTÓRICO NACIONAL

TEL/FAX: (03442) 423541 / 423600
Ing. PEREYRA 676 - ES264BTD - CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
ENTRE RÍOS - REP. ARGENTINA



El presente trabajo tiene como objetivo principal analizar el funcionamiento de un sistema de control de temperatura en un horno eléctrico, considerando los aspectos teóricos y prácticos de su diseño y puesta en marcha.

El primer capítulo describe el sistema de control de temperatura, detallando los componentes principales y el principio de funcionamiento. Se aborda el control de la potencia eléctrica suministrada al horno, así como el uso de sensores de temperatura para la retroalimentación del sistema.

El segundo capítulo describe el diseño de un controlador PID para el sistema de control de temperatura. Se detallan los parámetros de ajuste y se muestra cómo se implementa el controlador en un entorno de simulación.

El tercer capítulo describe la implementación práctica del sistema de control de temperatura. Se detallan los componentes hardware utilizados, como el microcontrolador, los sensores de temperatura y el actuador de potencia. Se muestra cómo se conecta el sistema y se realiza la programación del controlador.

El cuarto capítulo describe los resultados de la simulación y la implementación práctica del sistema de control de temperatura. Se muestran las gráficas de la respuesta del sistema a diferentes setpoints y se comparan los resultados obtenidos con los esperados.

El quinto capítulo describe las conclusiones y recomendaciones del trabajo. Se resalta el buen desempeño del controlador PID diseñado y se sugieren algunas mejoras para futuras versiones del sistema, como la implementación de un control adaptativo o un control por modelo.



Capítulo 7. Análisis de Ensayos de Calidad de Aguas.

A través de los ensayos realizados se generó la necesidad de establecer parámetros de relación entre la determinación química, físicas y bioquímica de las aguas residuales.

Los ensayos que se presentan en este trabajo tienen diversas procedencias, una parte de ellos son datos históricos otorgados por los distintos municipios y otros han sido ensayos de muestras que se tomaron durante el proceso de investigación del presente informe.

Estas últimas muestras fueron analizadas en el laboratorio de Obras Sanitarias de Gualaguaychú y en el Laboratorio de Concepción del Uruguay, el cual colabora a través de un convenio con el GERU.

A raíz de los datos obtenidos de las muestras analizadas, se procedió a través de un modelo matemático de correlación a completar la serie.

Con los datos obtenidos se evalúa el comportamiento de cada parámetro en la planta. Dichos resultados se analizan mediante gráficos y tablas que permitirán luego detectar aciertos y errores en el funcionamiento de la planta, desde el inicio hasta el punto final del proceso. Debido a la escasa cantidad de muestras obtenidas y a la correlación realizada, solo se realiza un análisis de observación de datos y tendencia de los mismos.

Se efectuaron mediciones tanto al agua residual cruda, como la tratada, y en algunos casos se pudo realizar mediciones en cada uno de los procesos.

Los parámetros que se analizaron son:

- Sólidos Sedimentables en 2 horas
- Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días 20 °C (DBO 5)
- Coliformes fecales

En la Tabla 7-1 se presentan datos típicos de los constituyentes encontrados en el agua residual doméstica. Si bien los constituyentes y las concentraciones del agua residual varían con el tiempo, se pueden tomar dichos valores de guía.

CONTAMINANTE	UNIDAD	MINIMO	MEDIO	ALTO
DBO ₅ ,20°C	mg/lt	110	220	400
COLIFORMES TOTALES	No/100 ml	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁸ - 10 ⁹

Tabla 7-1. Composición típica de líquidos cloacales crudos [Metcalf y Eddy]

En la Tabla 7-2 se detalla, de acuerdo a lo estipulado en el artículo 20° del Decreto Reglamentario de la Ley 6260, los valores máximos de los distintos parámetros de



contaminación que se admiten en los efluentes líquidos de establecimientos industriales. Cabe aclarar que en el valor referido a sólidos sedimentables en dos horas a curso de agua, se puede tomar <1 ml/l a los fines de que coincida con las unidades de los valores de ensayo, dato extraído del decreto 2149/87 de la normativa de efluentes industriales de Misiones.

PARÁMETROS	LIMITES PERMITIDOS	
	A COLECTORA CLOACAL	A CURSO DE AGUA
Sólidos sedimentables en 2 hs.	<10 ml/l	<30 mg/l
DBO ₅ , 20°C	<250 mg O ₂ /lt.	<50 mg O ₂ /lt.

Tabla 7-2. Composición de los efluentes.

El contenido en miligramos por litro de DBO₅ determinando en el crudo, se compara con valores típicos de la Tabla 7-1 y con el valor a colectora cloacal que determina la LEY y se exponen a modo de resumen en la Tabla 7-2.

En cuanto al parámetro de comparación de coliformes fecales, no deberán exceder una media logarítmica de 200/100ml, dicho valor se extrajo del Digesto de la Comisión Administradora del Río Uruguay (C.A.R.U.).

7.1. Calidad de las aguas residuales de la ciudad de Colón

En la localidad de Colón, las etapas de muestreo se recolectaron todas en el año 2008 entre la hora 14.00 y 16.00 horas, no registrándose precipitaciones.

Dichas muestras fueron analizadas en el laboratorio de la ciudad de Concepción del Uruguay, cuyos resultados se analizan los puntos que siguen.

7.1.1. Puntos de muestreo

En la Figura 7-1 se ven los puntos de muestreo que se tuvieron en cuenta para realizar los ensayos. Se tomaron muestras del crudo, de la laguna anaeróbica (laguna 1), de la laguna facultativa (laguna 2) y de efluente final tratado. Si bien la correlación se realizó para el ingreso y salida del agua residual por una limitación de datos, se tuvo en cuenta a la hora del análisis los datos intermedios obtenidos.

7.1.2. Ensayo de DBO₅

En el Gráfico 7-1 se pueden ver los resultados arrojados del análisis de las muestras con respecto a los valores de DBO₅ en el inicio y el final del sistema de tratamiento de lagunaje.

Se ve que los valores en el crudo son excesivos, lo que demuestra que la carga orgánica es inusual con respecto a la tipicidad expuesta. Además dos puntos pasan por encima del valor máximo de referencia, con lo cual se denota una tendencia a sobrepasar dichos límite.



Figura 7-1. Puntos de muestreo del sistema de Colón.

Este contenido de DBO_5 elevado puede atribuirse a diversos factores, pero como ya se mencionó no es alcance de este trabajo dilucidar los motivos, ya que no se ha profundizado en el análisis de la procedencia del agua residual.

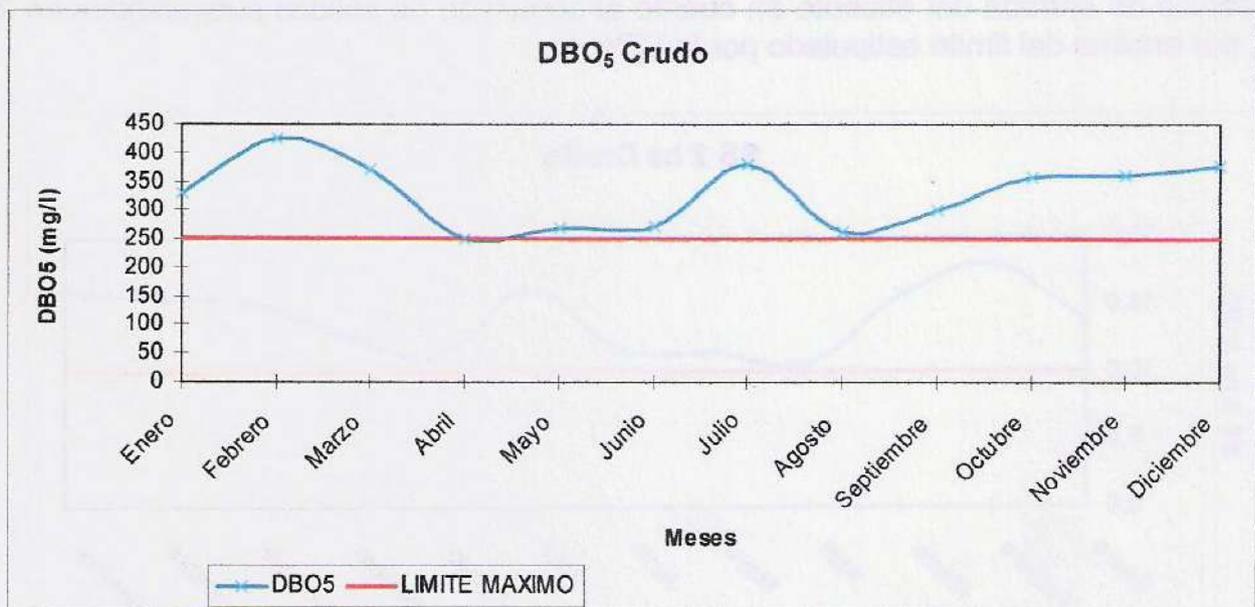


Gráfico 7-1. Comparación entre la DBO_5 del crudo y la exigencia de la normativa.

En cuanto al contenido de DBO_5 expresado por los ensayos en el efluente final se pueden ver en el Gráfico 7-2 valores elevados, por encima del valor máximo que la LEY estipula deben ser volcados al cuerpo receptor.

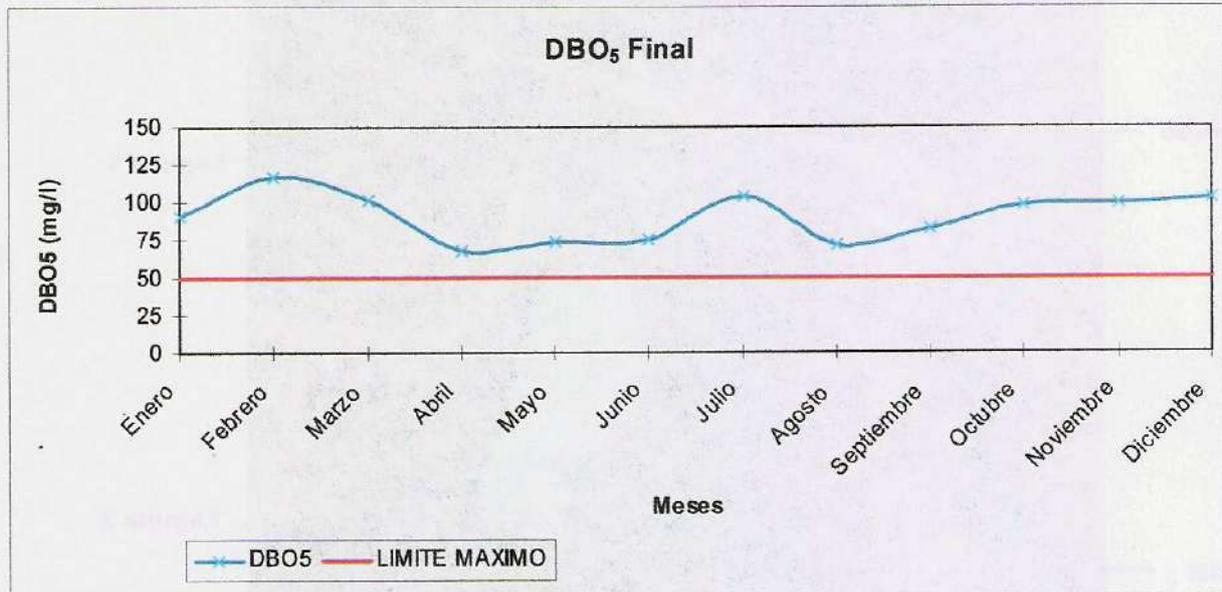


Gráfico 7-2. Comparación entre la DBO₅ del efluente final y la exigencia de la normativa

En cuanto a la eficiencia del sistema en general, se aprecia que la tendencia de los datos muestra porcentajes bajos, alrededor del 65% de remoción de DBO₅ lo cual evidencia la mala calidad del tratamiento. Cabe destacar que un sistema de lagunas debería de tener una eficiencia global de remoción del 90 al 95% de DBO₅.

7.1.3. Ensayo de sólido sedimentables en dos horas y diez minutos.

En este punto se ven los datos arrojado del ensayo de sólidos sedimentables en 2 horas, tanto a la entrada como a la salida del sistema. Se ve en el Gráfico 7-3 una mala tendencia de entrada del efluente en cuanto al contenido de sólidos suspendidos en 2 hs., por encima del límite estipulado por la LEY.

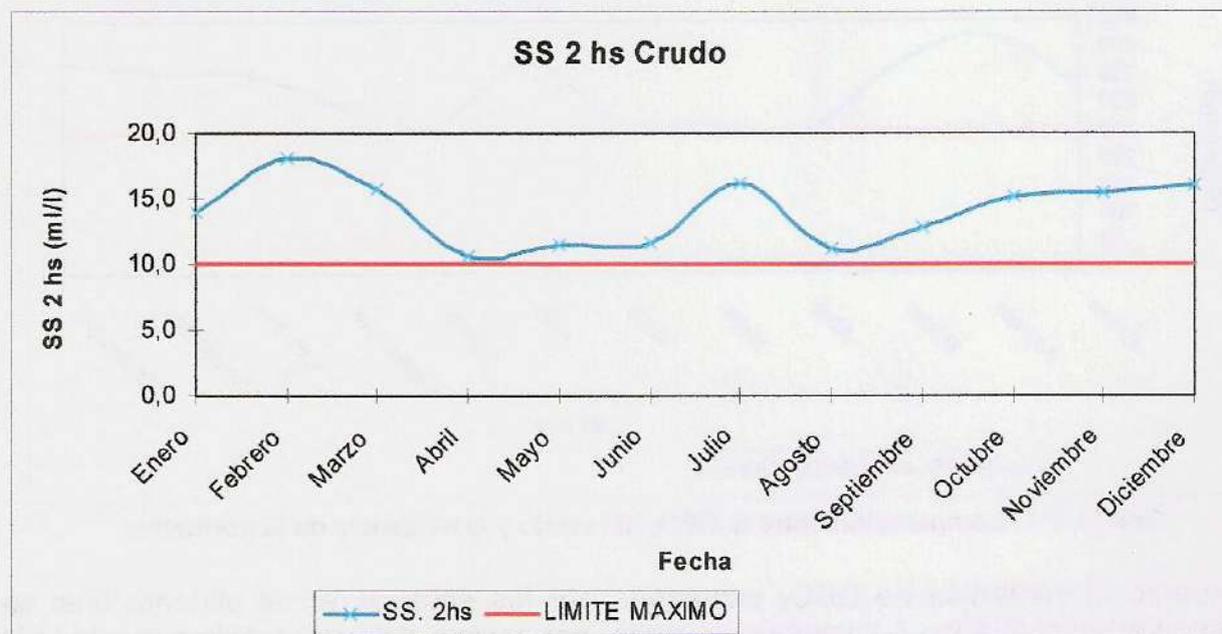


Gráfico 7-3. Comparación entre SS 2hs. del crudo y la exigencia de la normativa



En el efluente final se detecta una tendencia de valores elevados de sólidos sedimentables en 2 hs., que no sirven para cumplimentar con los parámetros estipulados en la LEY, como se ve en el Gráfico 7-4.

Se ve en el Gráfico 7-5 que a pesar de no cumplimentar con la Ley el sistema genera una remoción de sólidos suspendidos, aunque por la precariedad del mismo no sea suficiente.

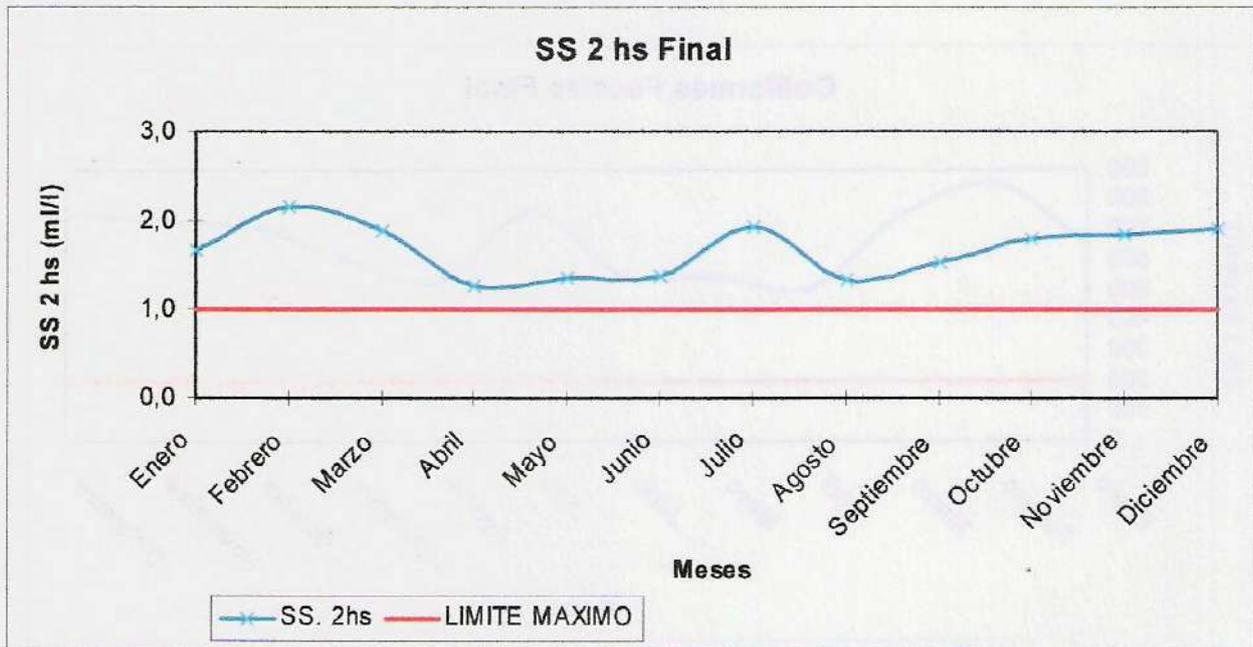


Gráfico 7-4. Comparación entre SS 2hs. del final y la exigencia de la normativa

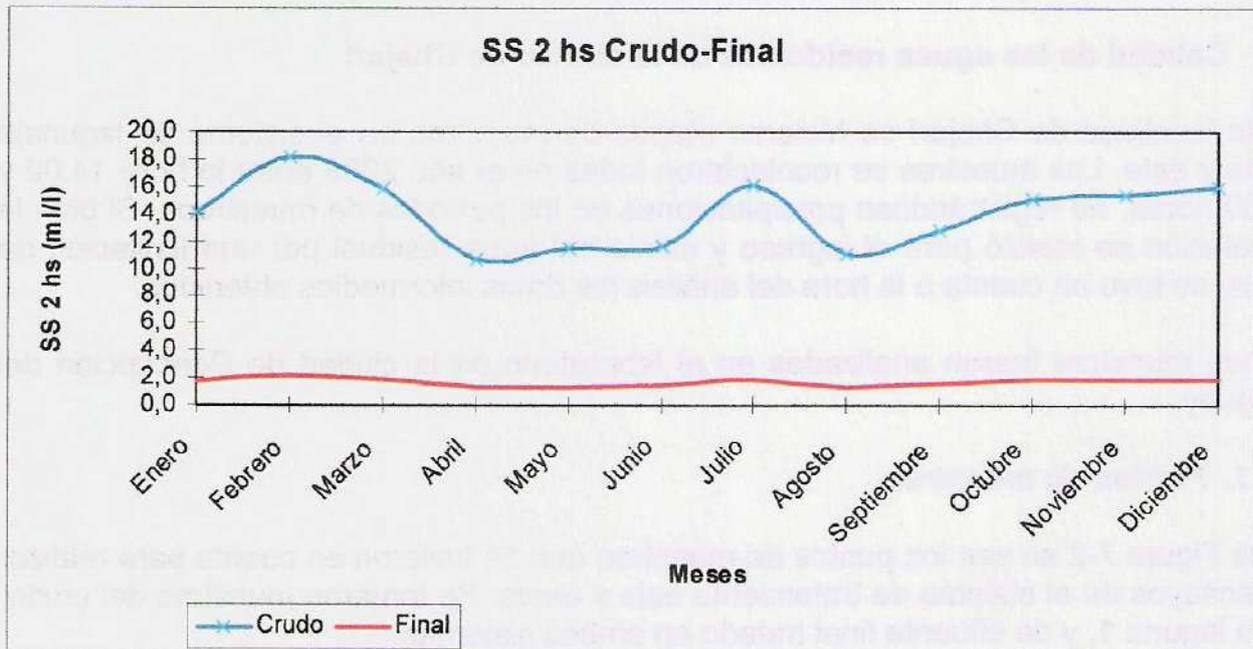


Gráfico 7-5. Comparación de remoción de S.S. en 2 Hs entre líquido crudo y final del sistema Colón.



7.1.4. Ensayo de Coliformes Fecales

En la determinación de los valores de estos ensayos se ve claramente una disparidad en los datos. Pero haciendo un análisis se puede determinar en comparación con el digesto mencionado, que los valores finales a pesar de su dispersión tienden a encontrarse por encima, como se ve en el Gráfico 7-6, lo cual denota en primer lugar un problema de funcionamiento del sistema y en segundo lugar un problema ambiental sobre el curso receptor.

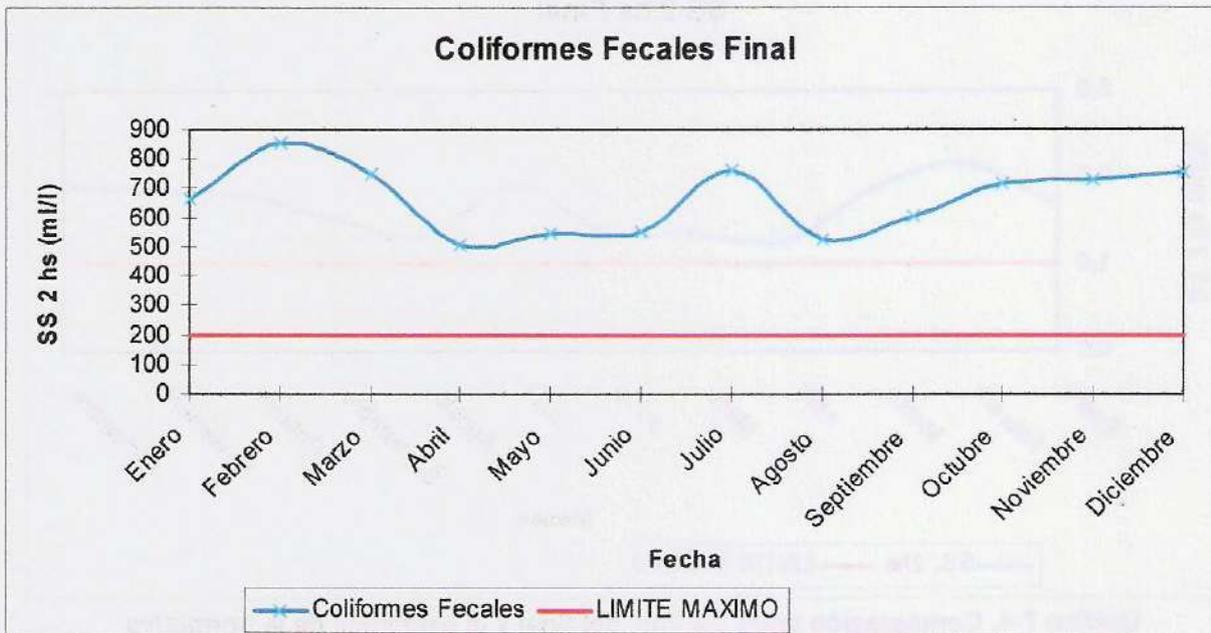


Gráfico 7-6. Comparación entre Coliformes fecales del final y la exigencia de la normativa

7.2. Calidad de las aguas residuales de la ciudad de Chajarí

En la localidad de Chajarí se hicieron etapas de muestreo en el sistema de lagunaje oeste y este. Las muestras se recolectaron todas en el año 2008 entre la hora 14.00 y 16.00 horas, no registrándose precipitaciones en los períodos de muestreos. Si bien la correlación se realizó para el ingreso y salida del agua residual por una limitación de datos, se tuvo en cuenta a la hora del análisis los datos intermedios obtenidos.

Dichas muestras fueron analizadas en el laboratorio de la ciudad de Concepción del Uruguay.

7.2.1. Puntos de muestreo

En la Figura 7-2 se ven los puntos de muestreo que se tuvieron en cuenta para realizar los ensayos en el sistema de tratamiento este y oeste. Se tomaron muestras del crudo, de la laguna 1, y de efluente final tratado en ambos sistemas.

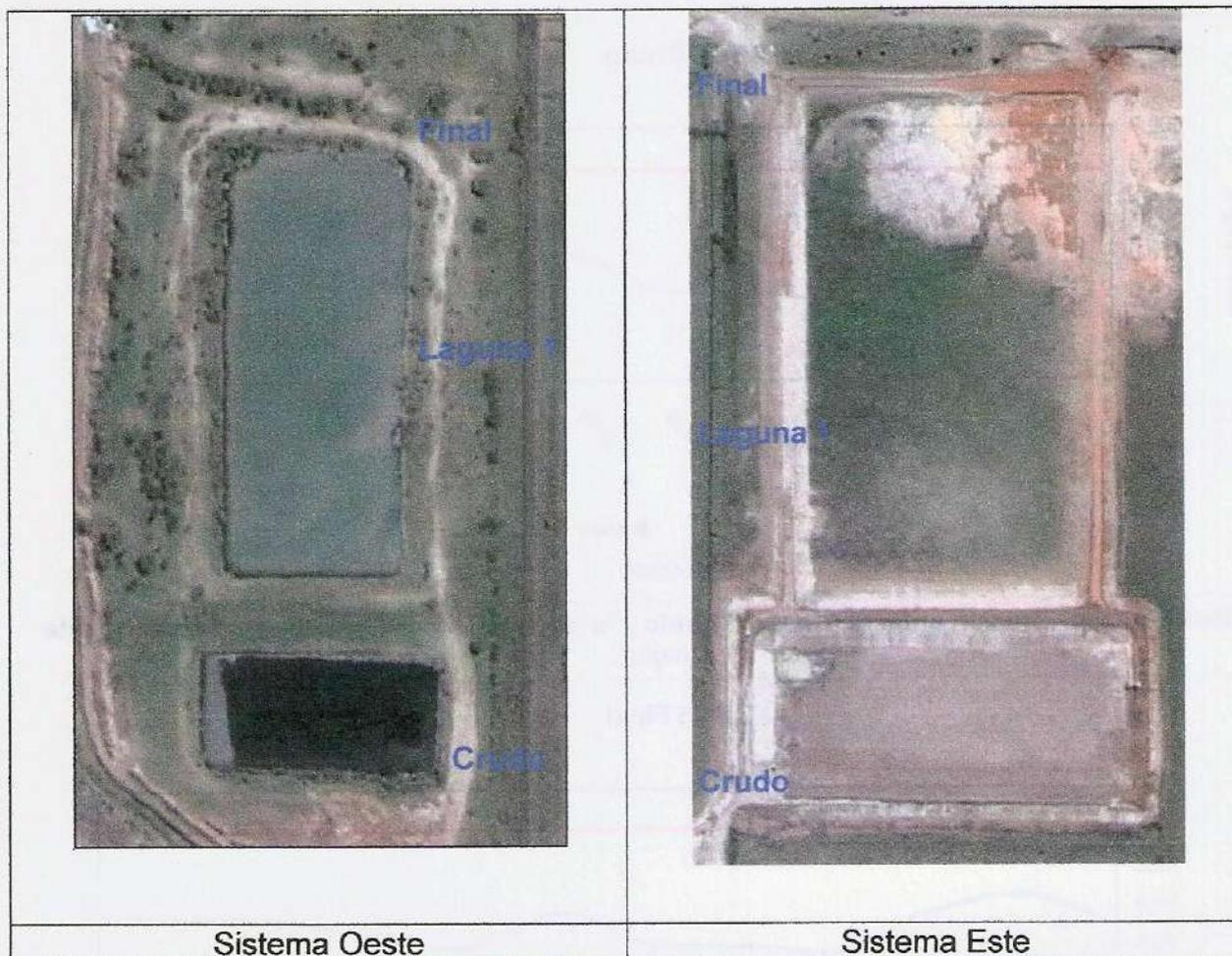


Figura 7-2. Puntos de muestreos del sistema oeste y este de Chajarí.

7.2.2. Ensayo de DBO_5

Se realizó a las muestras de ambos sistemas análisis para determinar el contenido en miligramos de DBO_5 a cinco días en cada uno de los procesos de ambos sistemas. Se recuerda que un sistema de lagunas como el analizado debería de tener una eficiencia global de remoción del 90 a 95% de DBO_5 .

7.2.2.1. Sistema este

En este apartado se pueden ver los resultados arrojados del análisis de las muestras con respecto a los valores de DBO_5 tanto al inicio como al final del sistema.

En el Gráfico 7-7 se ve que los valores en el crudo tienen una tendencia a ser bajos de acuerdo a los valores típicos presentados por la bibliografía, así como también a los valores que la LEY estipula sean cumplidos.

En cuanto al contenido de DBO_5 expresado por los ensayos en el efluente final se puede ver en el Gráfico 7-8 como los valores siguen una tendencia a estar por debajo del valor máximo que la LEY estipula deben ser volcados al cuerpo receptor.

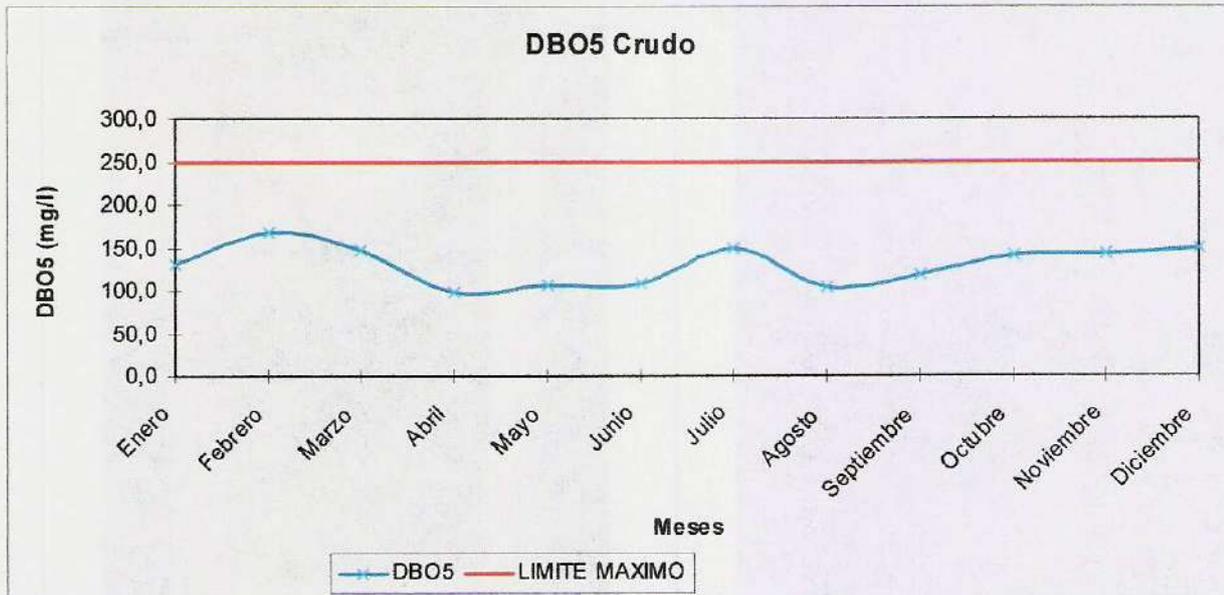


Gráfico 7-7. Comparación entre la DBO₅ del crudo y la exigencia de la normativa del sistema este Chajarí.

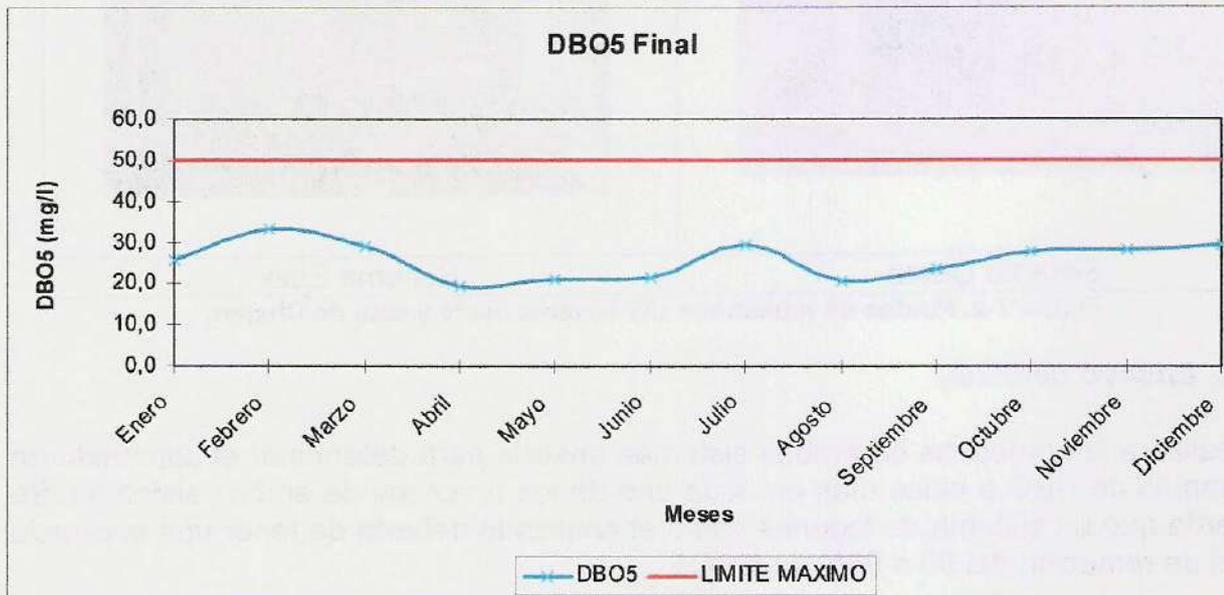


Gráfico 7-8. Comparación entre la DBO₅ del efluente final y la exigencia de la normativa del sistema este Chajarí.

En cuanto a la eficiencia del sistema en general, se analiza como la tendencia de los datos demuestra porcentajes de remoción de DBO₅ alrededor del 85%, el cual se encuentra apenas por debajo de los valores expuestos en el marco teórico, lo cual evidencia una buena calidad del tratamiento.

7.2.2.2. Sistema oeste

Se verán aquí los resultados arrojados del análisis de las muestras con respecto a los valores de DBO₅ tanto en la entrada como en la salida del sistema este de tratamiento.



En el Gráfico 7-9 se ve que los valores en el crudo tienen una tendencia a estar sobrepasados con respecto a los valores típicos presentados por la bibliografía, así como también a los valores que la LEY estipula sean cumplidos.

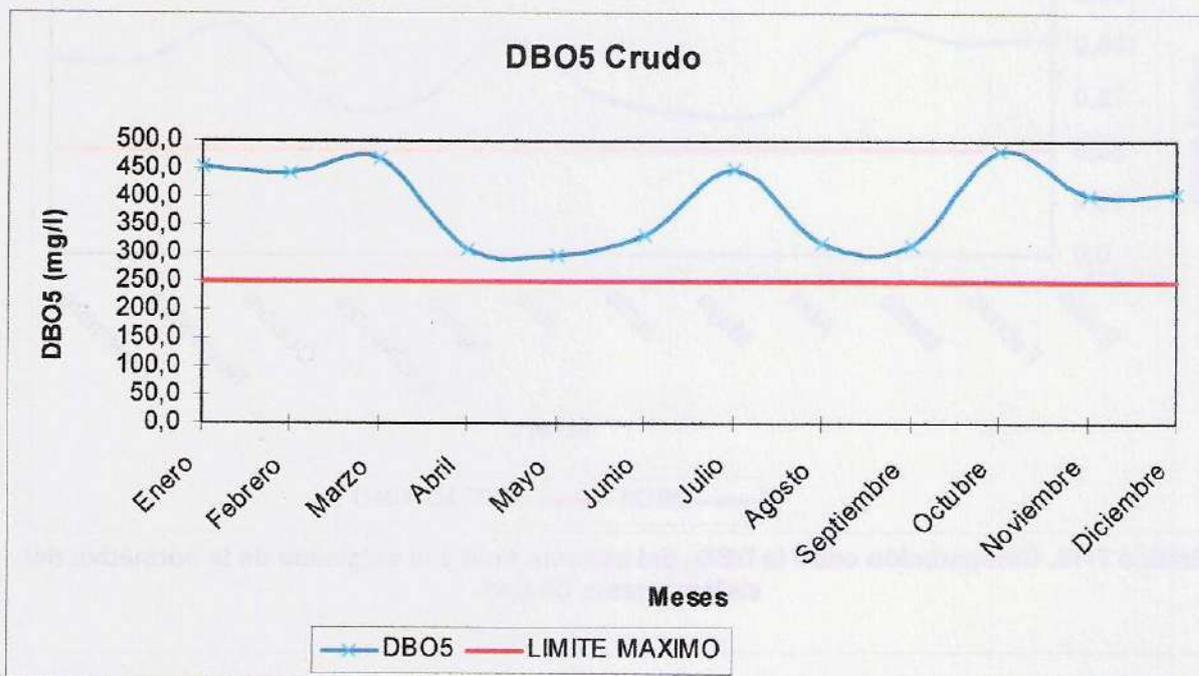


Gráfico 7-9. Comparación entre la DBO₅ del crudo y la exigencia de la normativa del sistema oeste Chajarí.

En cuanto al contenido de DBO₅ expresado por los ensayos en el efluente final se pueden ver en el Gráfico 7-10 valores elevados, por encima del valor máximo que la LEY estipula deben ser volcados al cuerpo receptor. Esto se atribuye a serios problemas de mantenimiento y operatividad que presentan las lagunas, como se pudo observar en el reconocimiento de campo.

Con respecto a la eficiencia del sistema en general, se puede analizar como la tendencia de los datos demuestra porcentajes promedios de remoción de DBO₅ que evidencian que el sistema funciona bien, pero como el efluente tiene una gran carga orgánica de entrada no es suficiente la remoción para cumplimentar con los límites que la Ley impone.

7.2.3. Ensayo de sólido sedimentables en dos horas y diez minutos.

Debido a los escasos datos existentes en el sistema este, solo se analizará el sistema oeste. Se analizan los datos arrojados por el análisis de las muestras del líquido crudo y el líquido final tratado del parámetro sólido sedimentable en 2 horas.

En el Gráfico 7-11 se ve que la tendencia de los datos arrojados del efluente crudo es aceptable en cuanto el límite estipulado por la LEY.

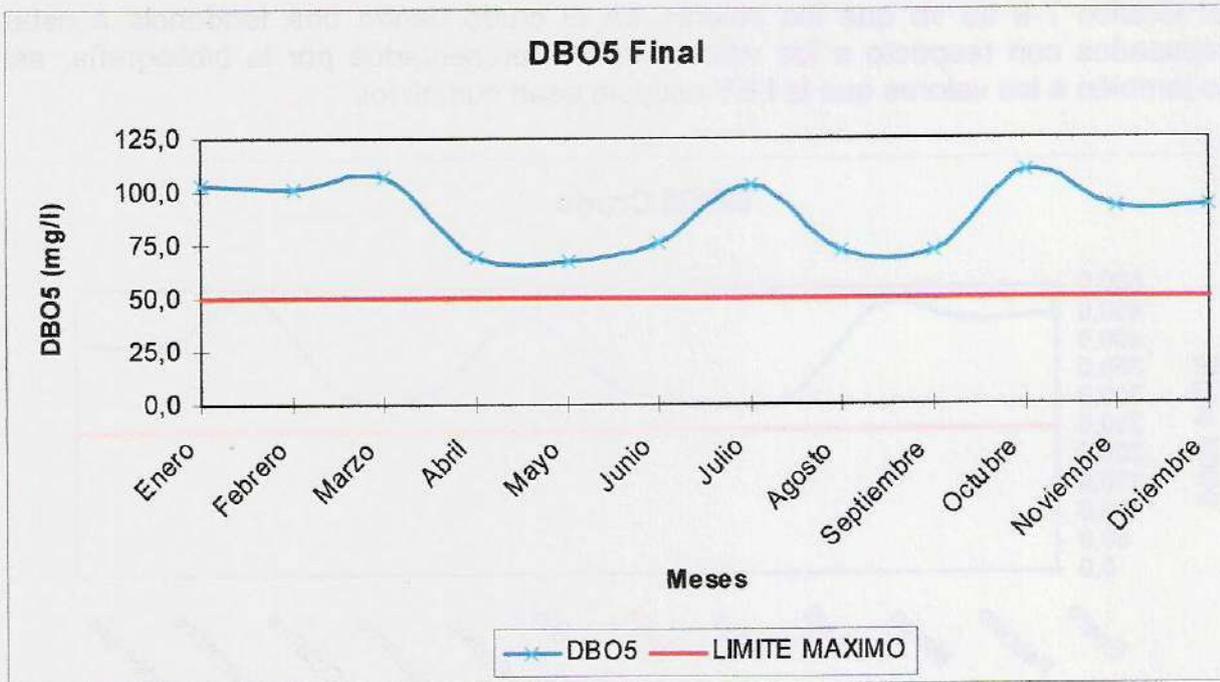


Gráfico 7-10. Comparación entre la DBO₅ del efluente final y la exigencia de la normativa del sistema oeste Chajarí.

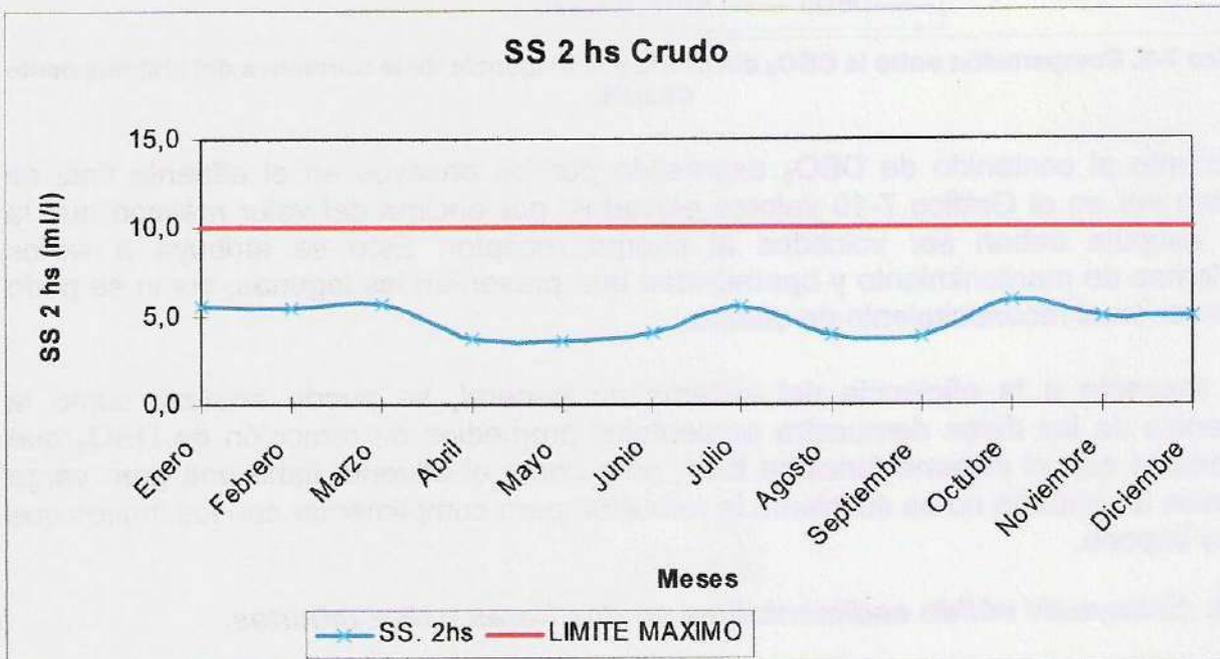


Gráfico 7-11 Comparación entre SS 2hs. del crudo y la exigencia de la normativa en el sistema oeste Chajarí.

En cuanto al contenido de sólidos sedimentables del efluente tratado se puede ver en el Gráfico 7-12 que llevan una tendencia a cumplimentar la normativa, si bien se ven valores claramente por encima del límite máximo.

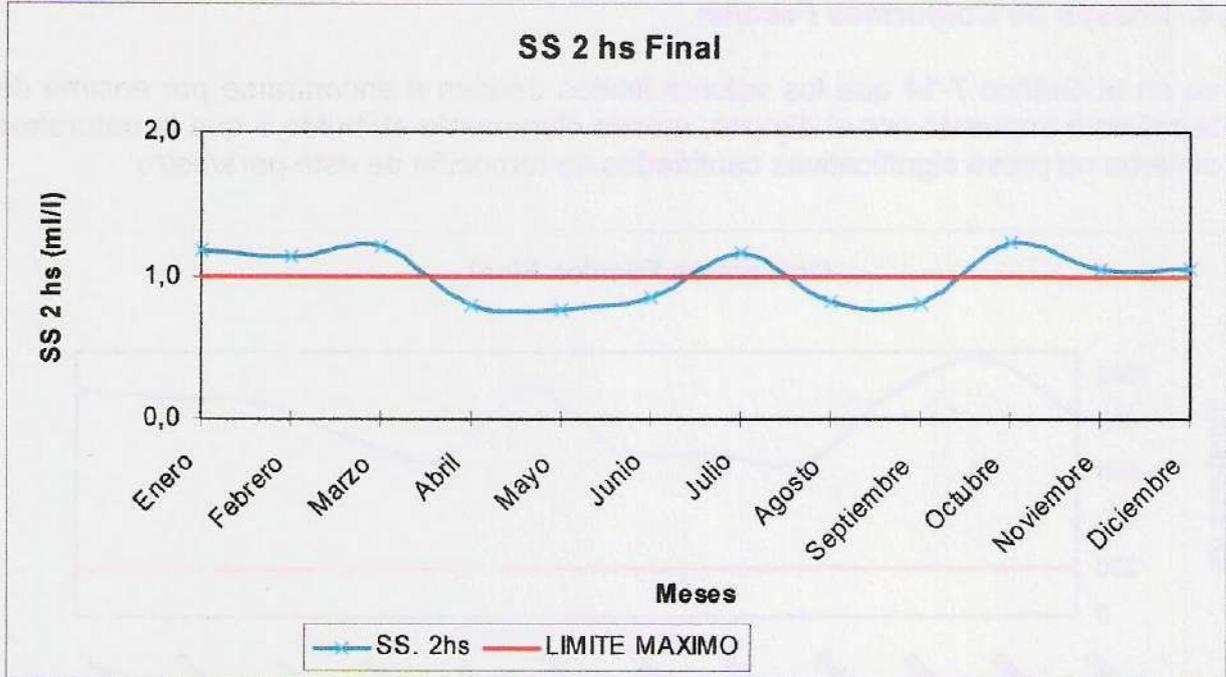


Gráfico 7-12. Comparación entre SS 2hs. del final y la exigencia de la normativa en el sistema oeste Chajarí.

Se ve en Gráfico 7-13 claramente el proceso de remoción de sólidos sedimentables del líquido desde la entrada al sistema hasta la salida.

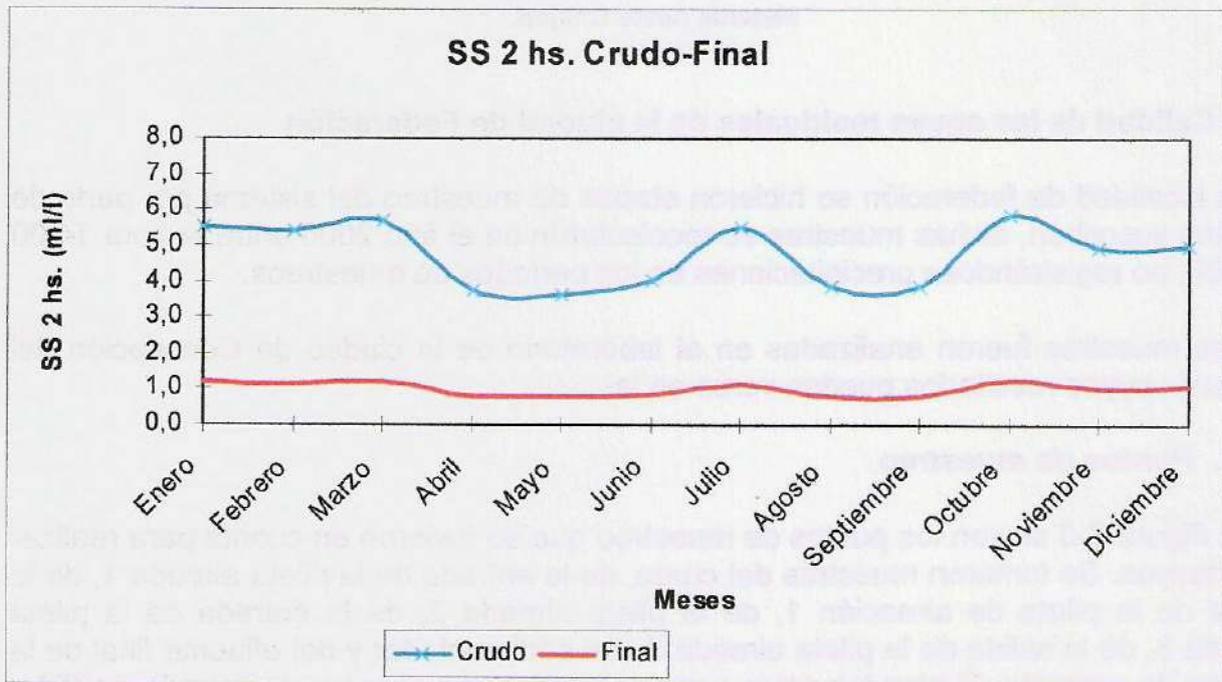


Gráfico 7-13. Comparación de remoción de S.S. en 2 Hs entre líquido crudo y final del sistema oeste Chajarí.

7.2.4. Ensayo de Coliformes Fecales

Se ve en el Gráfico 7-14 que los valores finales tienden a encontrarse por encima del límite máximo impuesto por el digesto, motivo claramente atribuido a que la naturaleza del sistema no prevé significativas cantidades de remoción de este parámetro.

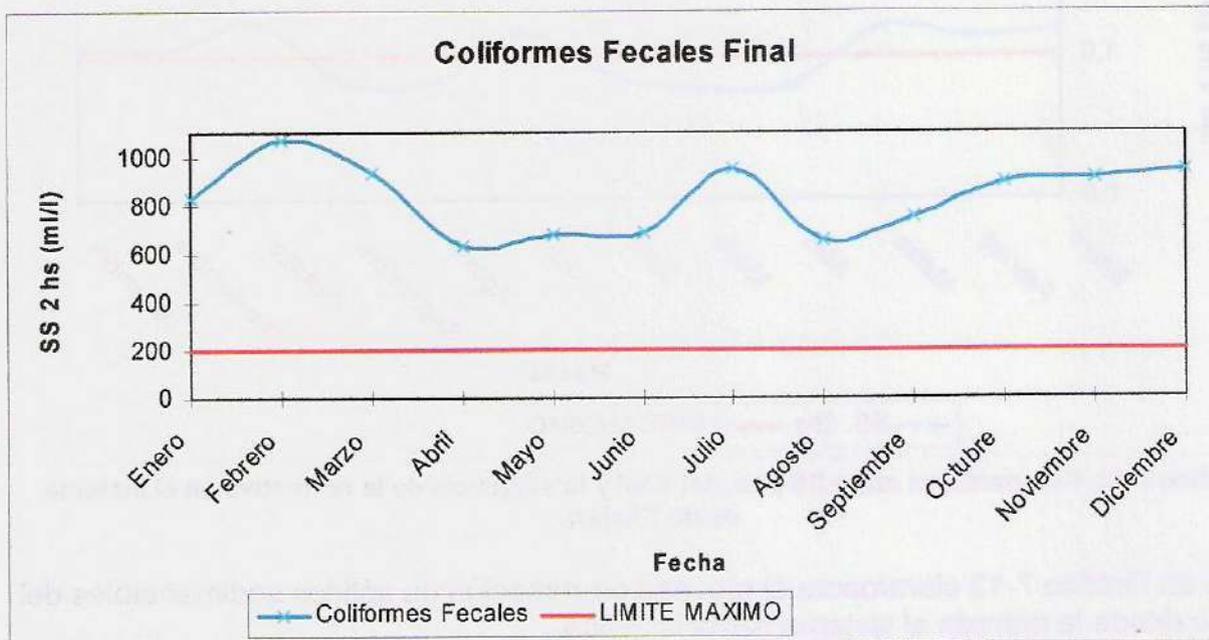


Gráfico 7-14. Comparación entre Coliformes fecales del final y la exigencia de la normativa del sistema oeste Chajari.

7.3. Calidad de las aguas residuales de la ciudad de Federación

En la localidad de federación se hicieron etapas de muestreo del sistema por parte de quienes suscriben, dichas muestras se recolectaron en el año 2008 entre la hora 14.00 y 16.00, no registrándose precipitaciones en los períodos de muestreos.

Dichas muestras fueron analizadas en el laboratorio de la ciudad de Concepción del Uruguay, cuyos resultados pueden verse en las

7.3.1. Puntos de muestreo

En la Figura 7-3 se ven los puntos de muestreo que se tuvieron en cuenta para realizar los ensayos. Se tomaron muestras del crudo, de la entrada de la pileta aireada 1, de la salida de la pileta de aireación 1, de la pileta aireada 2, de la entrada de la pileta aireada 3, de la salida de la pileta aireada 3, del sedimentador y del efluente final de la cámara de contacto. Si bien los datos correlacionados son solo los de entrada y salida, se tuvieron en cuenta todos los datos a la hora de realizar un análisis.

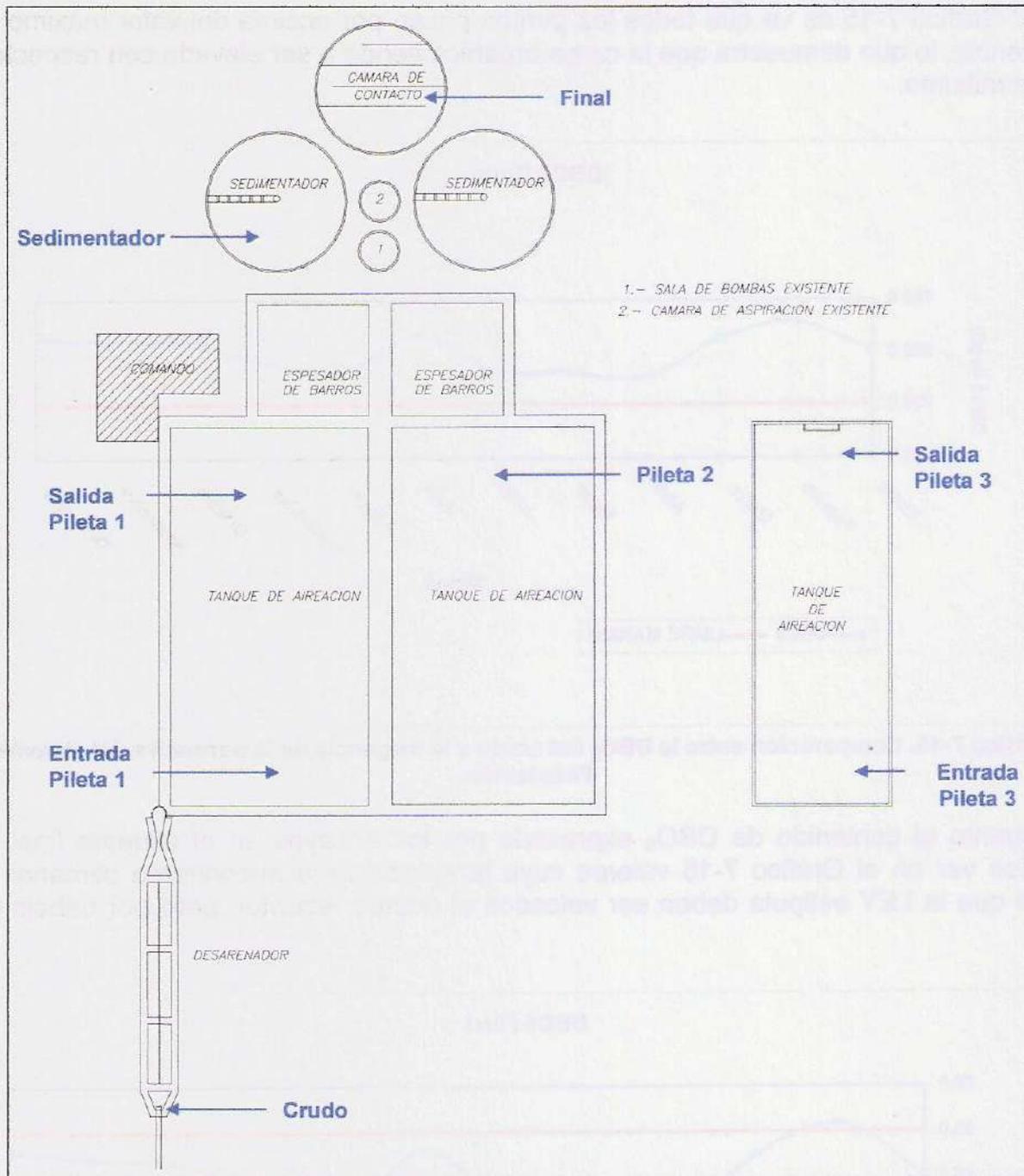


Figura 7-3. Puntos de muestreos del sistema Federación.

7.3.2. Ensayo de DBO_5 .

Se pueden ver los resultados arrojados del análisis de las muestras con respecto a los valores de DBO_5 tanto a la entrada como a la salida del sistema de tratamiento.

El contenido en miligramos por litro de DBO_5 determinando en el crudo, se compara con valores típicos de la Tabla 7-1 y con el valor máximo a colectora cloacal que determina la LEY. Con respecto a la primera comparación se ve que el líquido tiene tendencia a tener valores altos de DBO_5 , aunque se considera aceptable.

En el Gráfico 7-15 se ve que todos los puntos pasan por encima del valor máximo de referencia, lo que demuestra que la carga orgánica tiende a ser elevada con respecto a límite máximo.

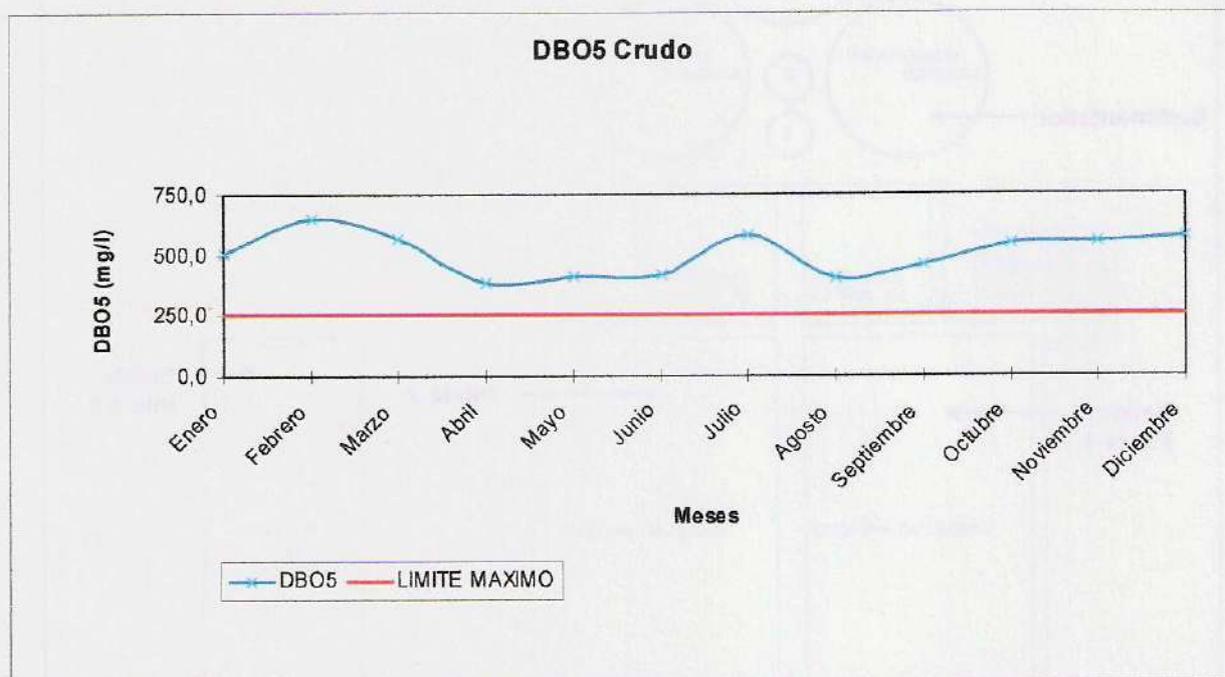


Gráfico 7-15. Comparación entre la DBO₅ del crudo y la exigencia de la normativa del sistema Federación.

En cuanto al contenido de DBO₅ expresado por los ensayos en el efluente final se pueden ver en el Gráfico 7-16 valores cuya tendencia es a encontrarse cercanos al límite que la LEY estipula deben ser volcados al cuerpo receptor, pero por debajo de este.

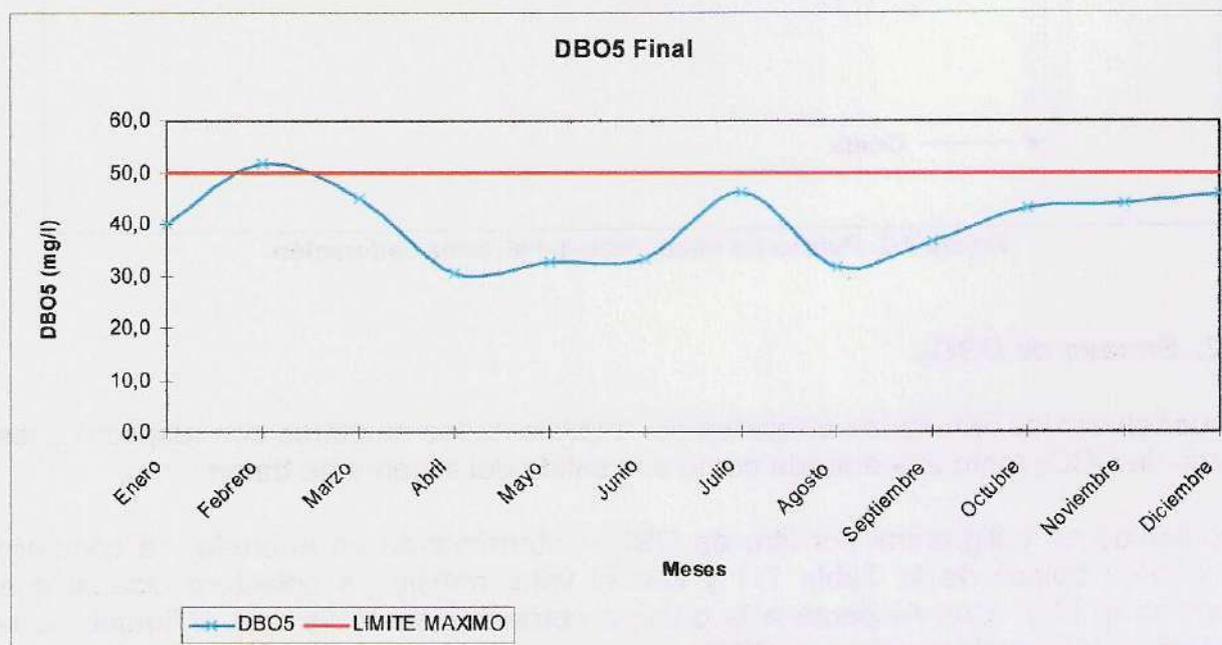


Gráfico 7-16. Comparación entre la DBO₅ del efluente final y la exigencia de la normativa del sistema Federación.



En cuanto a la eficiencia global de remoción de DBO5 del sistema, se puede ver que la tendencia de los valores apunta a una depuración moderada de alrededor del 90%, ya que una remoción óptima estaría alrededor del 95%.

7.3.3. Ensayo sólidos sedimentables en 2 horas.

Evaluando el Gráfico 7-17 se puede ver que los valores tienden a cumplir con los valores exigidos en la normativa.

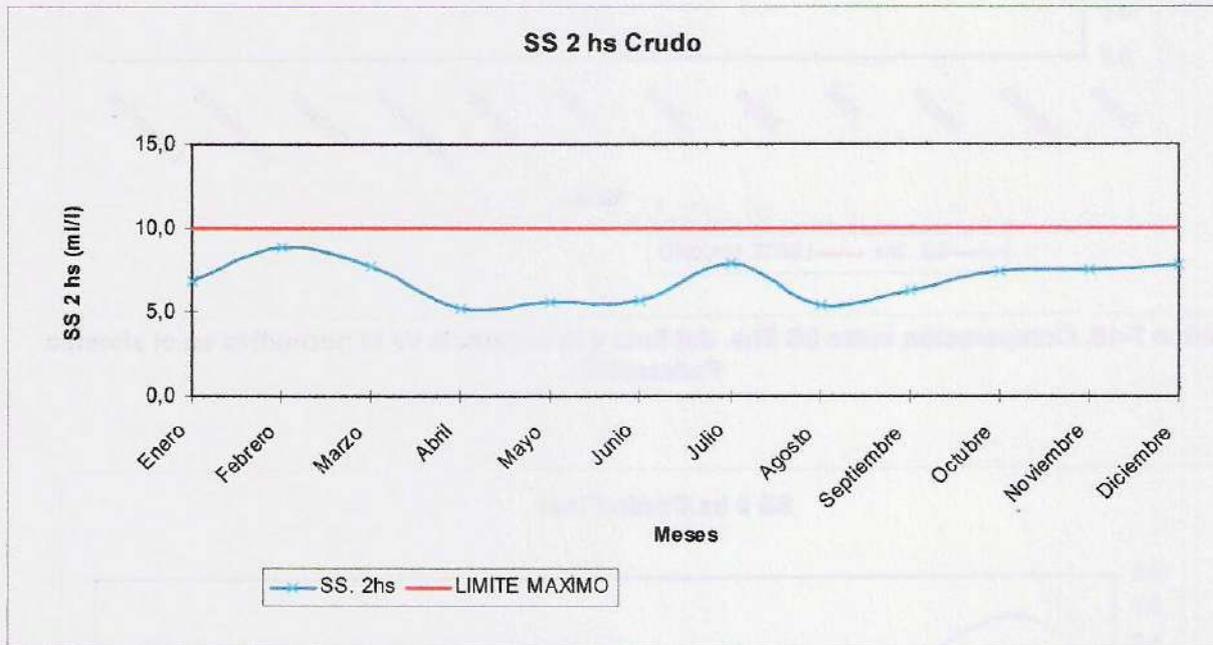


Gráfico 7-17. Comparación entre SS 2hs. del crudo y la exigencia de la normativa en el sistema Federación.

Como se puede ver en el Gráfico 7-18 los valores de sólidos sedimentables que se concentran en el efluente de salida al cuerpo receptor presentan una tendencia a la hora de cumplimentar la normativa a encontrarse fluctuantes sobre el límite máximo.

Por otro lado se ve en el Gráfico 7-19 como el sistema es capaz de depurar a lo largo de sus procesos gran parte de sólidos en suspensión con que entra el líquido cloacal.

7.3.4. Ensayo de Coliformes Fecales

En la determinación de los valores de estos ensayos se ve en el Gráfico 7-20 claramente en una tendencia de eliminación bastante por encima de lo que el digesto propone, lo cual a pesar de haber un sistema de cloración esta demostrando una deficiencia en la desinfección muy marcada.

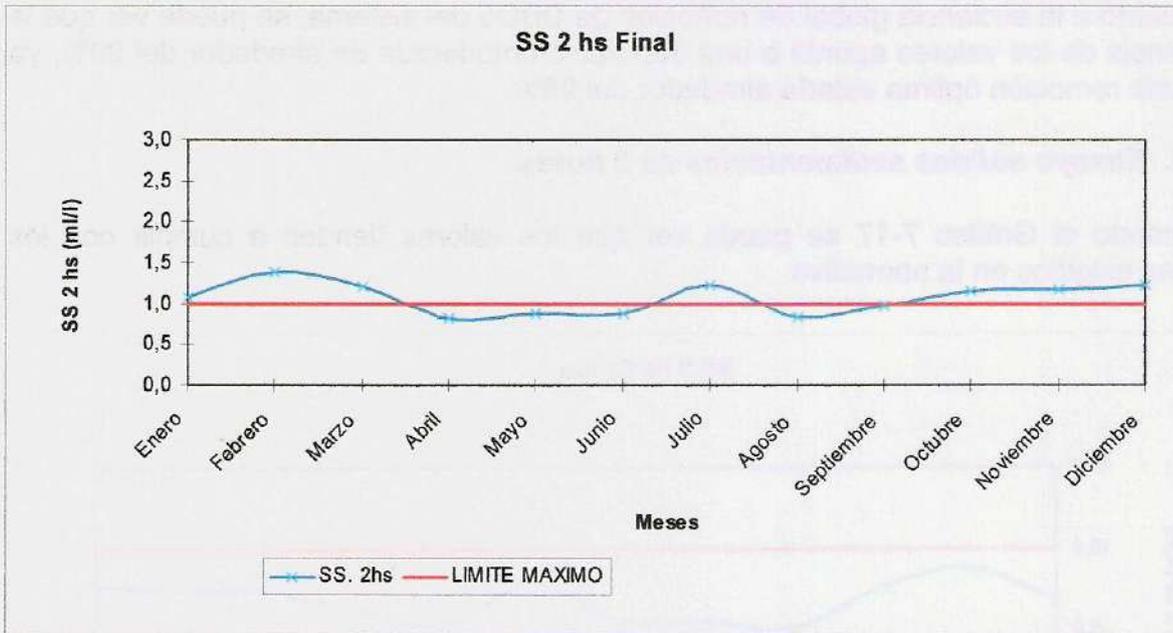


Gráfico 7-18. Comparación entre SS 2hs. del final y la exigencia de la normativa en el sistema Federación.

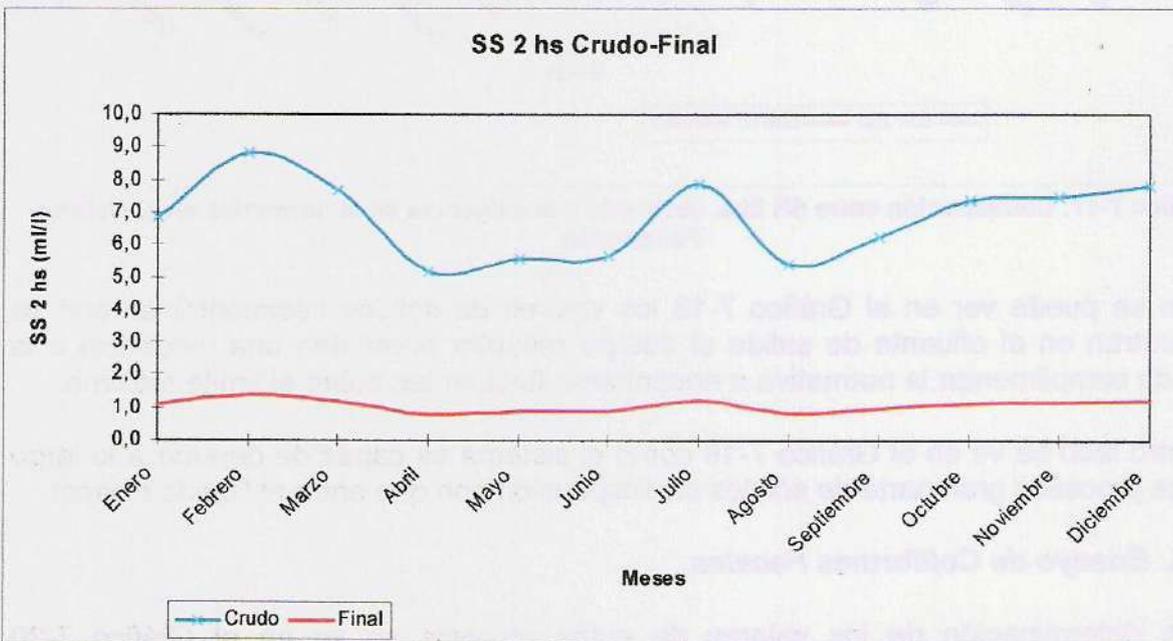


Gráfico 7-19. Comparación de remoción de S.S. en 2 hs entre líquido crudo y final del sistema Federación.

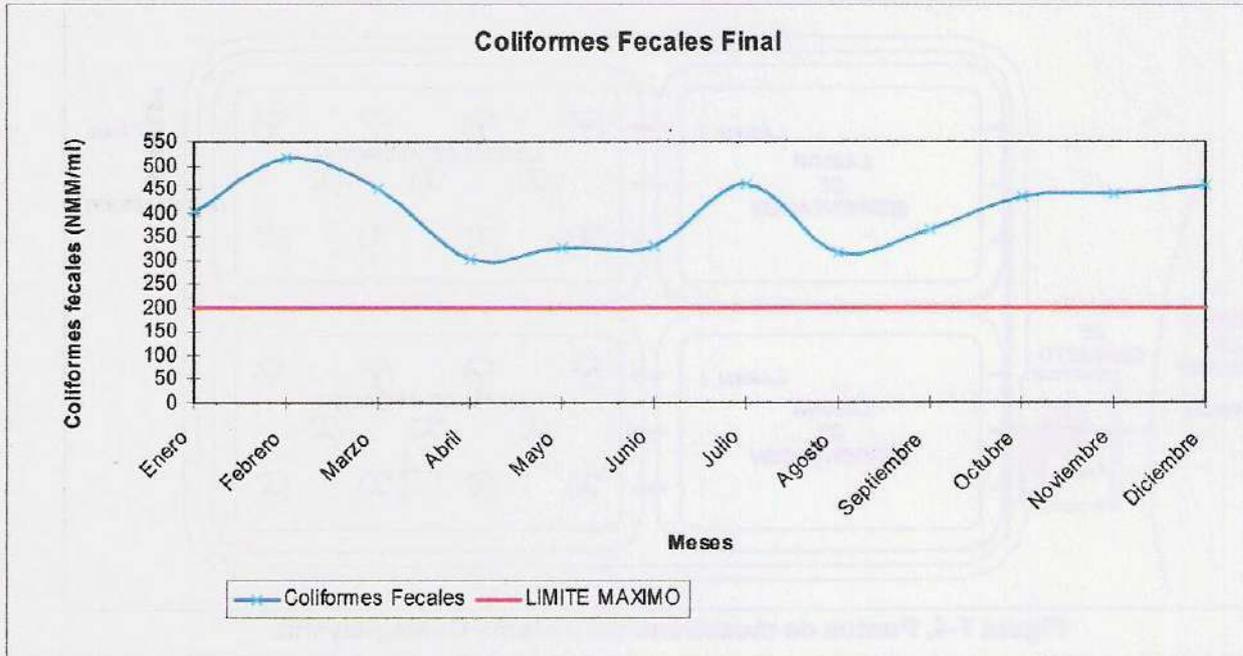


Gráfico 7-20. Comparación entre Coliformes fecales del final y la exigencia de la normativa en el sistema Federación

7.4. Calidad de las aguas residuales de la ciudad de Gualeguaychú.

En la localidad de Gualeguaychú se cuenta con muestreos históricos otorgados por el municipio de dicha localidad. Además se hicieron tres etapas de muestreo del sistema por parte de quienes suscriben, dichas muestras se recolectaron entre la hora 14.00 y 16.00, no registrándose precipitaciones en los períodos de muestreos.

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Obras Sanitarias de la ciudad de Gualeguaychú, cuyos resultados pueden verse en las

7.4.1. Puntos de muestreo

En la Figura 7-4 se ven los puntos de muestreo que se tuvieron en cuenta para realizar los ensayos. Se tomaron muestras del crudo, de la entrada de la laguna 1 "izquierda", de la entrada de la laguna 2 "derecha" y del efluente final.

7.4.2. Ensayo de DBO_5 .

En este punto se pueden ver los resultados arrojados del análisis de las muestras con respecto a los valores de DBO_5 en los distintos puntos del proceso del sistema de tratamiento.

En el Gráfico 7-21 se ve que los valores en el crudo tienen una tendencia a ser aceptables de acuerdo a los valores típicos presentados por la bibliografía, así como también a los valores que la LEY estipula sean cumplidos.

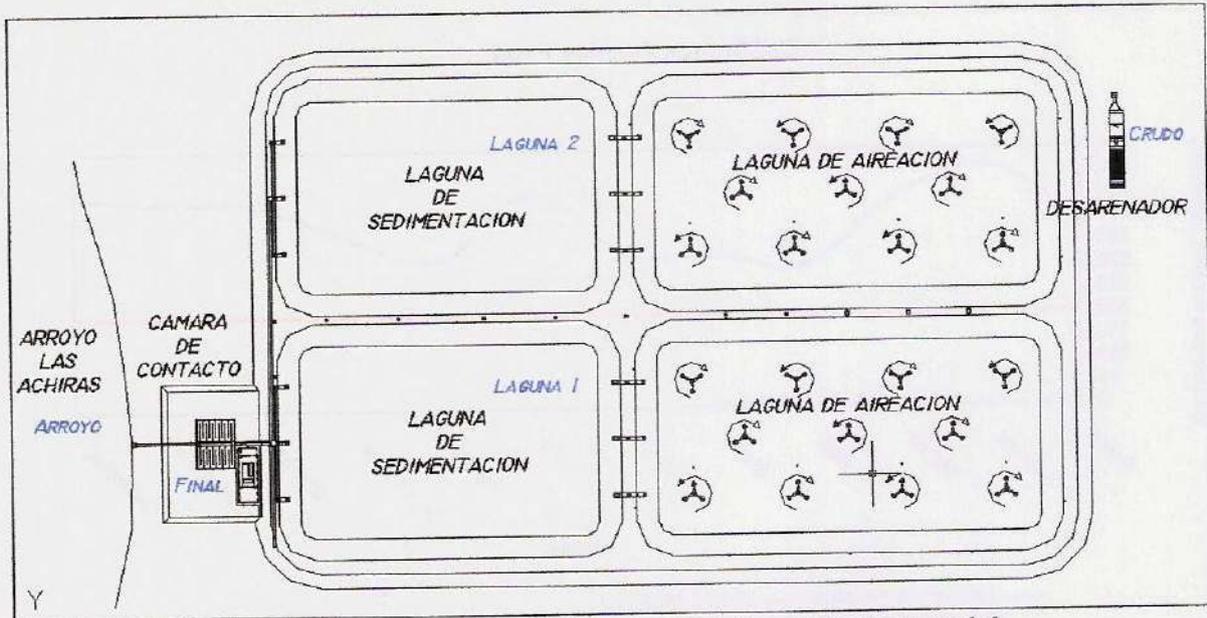


Figura 7-4. Puntos de muestreos del sistema Gualeguaychú.

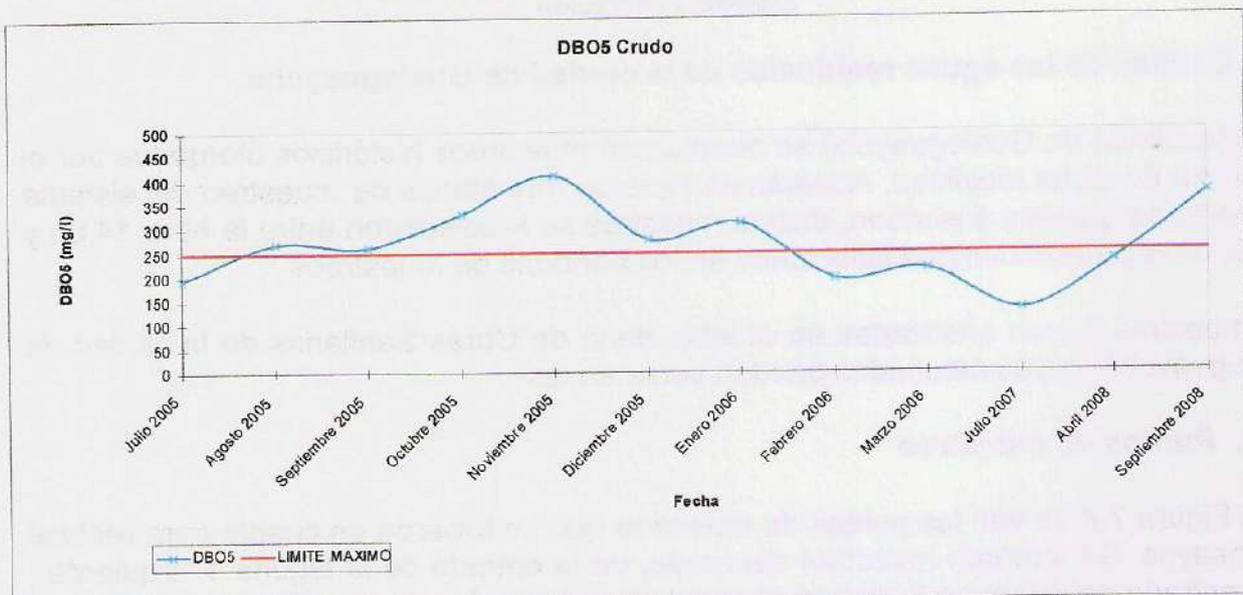


Gráfico 7-21. Comparación entre la DBO₅ del crudo y la exigencia de la normativa en el sistema Gualeguaychú.

En cuanto al contenido de DBO₅ expresado por los ensayos en el efluente final se pueden ver en el Gráfico 7-22 valores que tienden a cumplimentar con el límite que la LEY estipula deben ser volcados al cuerpo receptor.

En cuanto a la eficiencia global de remoción de DBO₅ del sistema, se puede ver que la tendencia de los valores apunta a una depuración buena, ya que una remoción óptima estaría alrededor del 90% en este tipo de sistema.

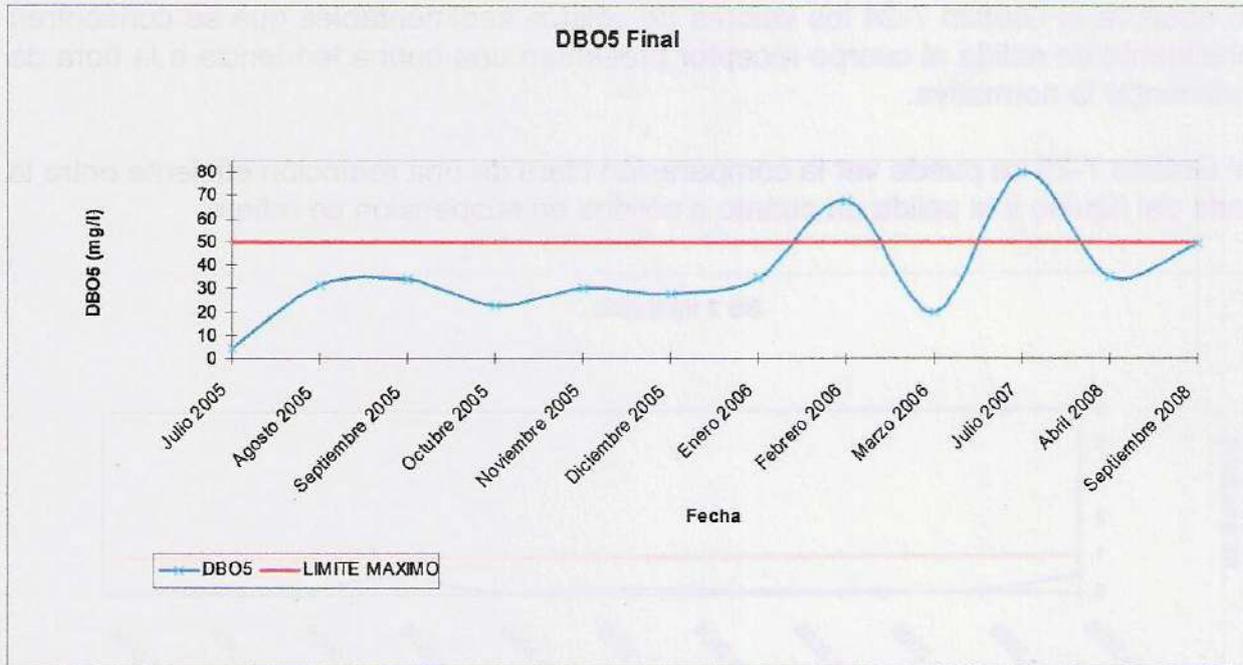


Gráfico 7-22. Comparación entre la DBO₅ del efluente final y la exigencia de la normativa en el sistema de Gualeguaychú.

7.4.3. Ensayo sólidos sedimentables en 2 horas y 10 minutos.

En este punto se ven los datos arrojado del ensayo de sólidos sedimentables en 2 horas. En el Gráfico 7-23 se ve una buena tendencia de entrada del efluente en cuanto al contenido de sólidos en suspensión, ya que los datos se encuentran por debajo del límite estipulado por la LEY, lo cual es sumamente beneficioso en cuanto a la operatividad de las lagunas.

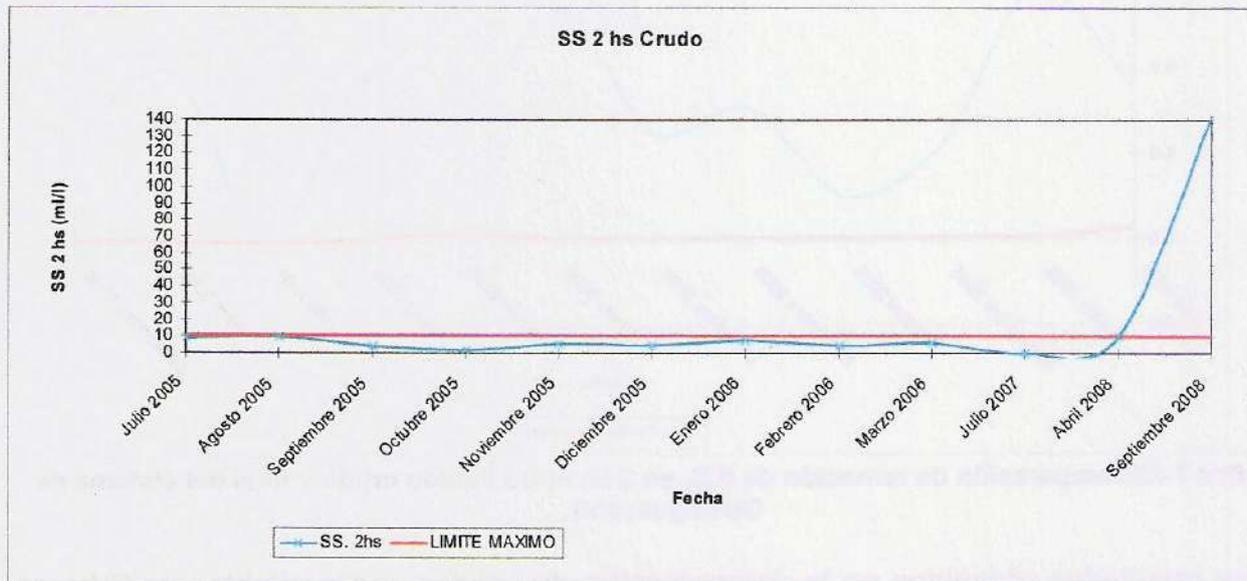


Gráfico 7-23. Comparación entre SS 2hs. del crudo y la exigencia de la normativa en el sistema de Gualeguaychú.



Si se observa el Gráfico 7-24 los valores de sólidos sedimentables que se concentran en el efluente de salida al cuerpo receptor presentan una buena tendencia a la hora de cumplimentar la normativa.

En el Gráfico 7-25 se puede ver la comparación clara de una remoción eficiente entre la entrada del líquido y la salida en cuanto a sólidos en suspensión se refiere.

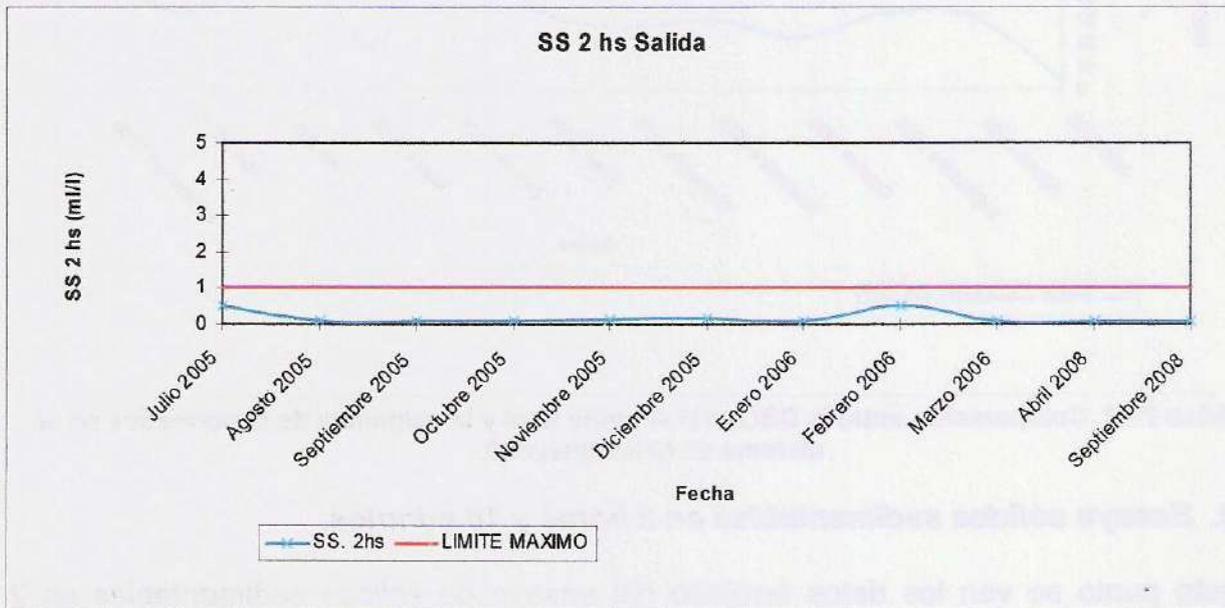


Gráfico 7-24. Comparación entre SS 2hs. del final y la exigencia de la normativa en el sistema de Gualeguaychú.

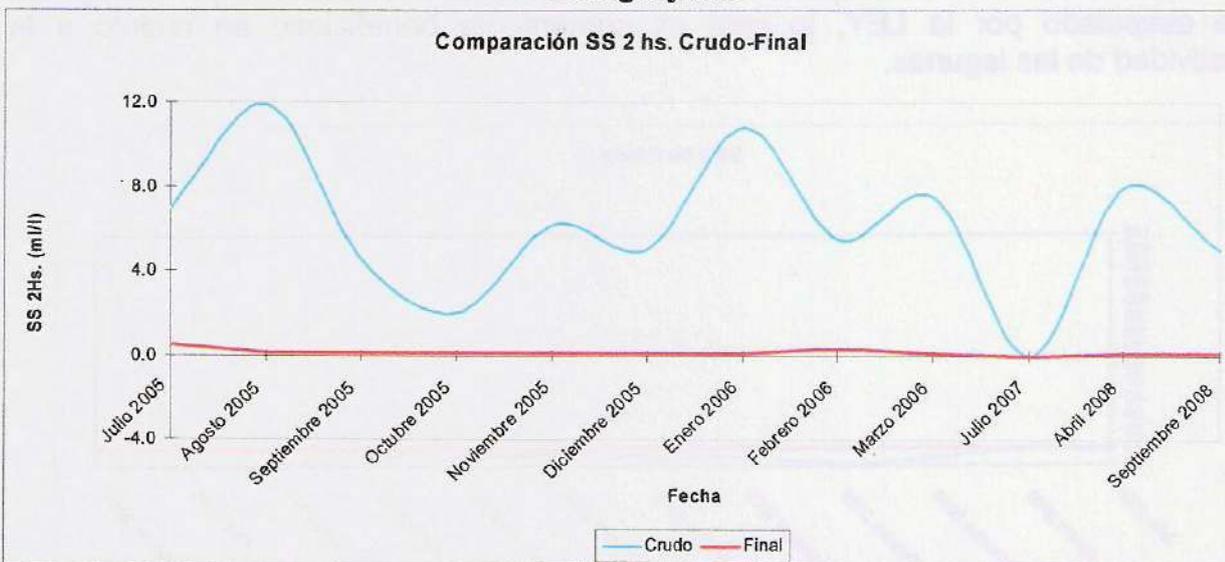


Gráfico 7-25 Comparación de remoción de S.S. en 2 hs entre líquido crudo y final del sistema de Gualeguaychú.

De los resultados obtenidos en la determinación de sólidos sedimentables en 2 horas entre las lagunas de sedimentación (1 ubicada a la izquierda y la 2 ubicada a la derecha), se llegó a la conclusión de que la laguna 2 recibe más sólidos que la laguna 1, como se puede ver en el Gráfico 7-26.



Gráfico 7-26. Comparación de S.S. en 2 hs. Entre laguna 1 y laguna 2 del sistema de Gualeguaychú.

7.4.4. Ensayo de Coliformes Fecales

En la determinación de los valores de estos ensayos se obtuvo valores de alrededor de los 7000000/100 ml, lo cual demuestra una tendencia de eliminación muy por encima de lo que el digesto propone, lo cual demuestra la deficiencia en la desinfección.

FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
MONUMENTO HISTÓRICO NACIONAL

TEL/FAX: (03412) 425541 / 423363
Ing. PEREYRA 675 - ESCUELA 10 - CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
ENTRE RÍOS - REP. ARGENTINA



Gráfico 1.1. Evolución de los valores de los indicadores de la actividad de los estudiantes en el curso de Matemática II.

3.1. Análisis de los resultados

En el desarrollo de los valores de los indicadores de la actividad de los estudiantes en el curso de Matemática II, se observó una evolución de los valores de los indicadores de la actividad de los estudiantes en el curso de Matemática II, que se reflejó en la evolución de los valores de los indicadores de la actividad de los estudiantes en el curso de Matemática II.



Capítulo 8. Análisis FODA, evaluación de situación y propuestas

El análisis FODA es una de las herramientas esenciales que provee de los insumos necesarios al proceso de planeación estratégica, proporcionando la información necesaria para la implantación de acciones y medidas correctivas y la generación de nuevos o mejores proyectos de mejora. [Metodología para el análisis FODA. Instituto Politécnico Nacional, Secretaría Técnica. Dirección de planeación y organización, Marzo de 2002]

El término FODA es una sigla conformada por las primeras letras de las palabras Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (en inglés SWOT: Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats). De entre estas cuatro variables, tanto fortalezas como debilidades son internas de la organización o entidad en estudio, por lo que es posible actuar directamente sobre ellas. En cambio las oportunidades y las amenazas son externas, por lo que en general resulta muy difícil poder modificarlas. [Hugo Esteban Glagovsky, Facultad de Cs. Económicas, Universidad de Buenos Aires, Licenciatura en Sistemas de Información de las Organizaciones]

Filtrados los datos son luego clasificados. De esta manera se puede construir una matriz con dos dimensiones:

	Positivas	Negativas
Exterior	Oportunidades	Amenazas
Interior	Fortalezas	Debilidades

Entre algunas características de este tipo de análisis se encuentra las siguientes ventajas:

- Facilitan el análisis del quehacer de la entidad que por atribución se debe cumplir en apego a un marco legal y a los compromisos establecidos en las políticas públicas.
- Facilitan la realización de un diagnóstico para la construcción de estrategias que permitan reorientar el rumbo, al identificar la posición actual y la capacidad de respuesta.

De esta forma, el proceso de planeación estratégica se considera funcional cuando las debilidades se ven disminuidas, las fortalezas son incrementadas, el impacto de las amenazas es considerado y atendido puntualmente, y el aprovechamiento de las oportunidades es capitalizado. [Metodología para el análisis FODA. Instituto Politécnico Nacional, Secretaría Técnica. Dirección de planeación y organización, Marzo de 2002]

8.1. Caso de estudio, Gualeguaychú

Se presenta en este capítulo, el análisis cualitativo de la planta de tratamientos de la ciudad de Gualeguaychú a través del análisis FODA, Tabla 8-1. Matriz Plana FODA..

8.1.1. Descripción de factores y Matriz Plana FODA

Se presenta a continuación una memoria descriptiva breve sobre los distintos factores de la matriz FODA. Esta descripción tiene como objetivo que el lector pueda interpretar de manera correcta los factores que se exhiben en la matriz, ya que en ella se



presentan los mismos de manera sintética, para poder favorecer una adecuada presentación.

Hay que aclarar que las Fortalezas y Amenazas que a continuación se presentan fueron extractadas de la memoria descriptiva que se realizó sobre el sistema de tratamiento de Gualaguaychú como así también surgidos de las visitas a la planta.

8.1.1.1. Debilidades

Se describen a continuación aquellos factores que debilitan el funcionamiento del sistema.

D1. Elevado consumo eléctrico

El consumo de energía para el correcto funcionamiento de la planta va de los \$30.000 a \$50.000 mensuales, donde el sistema de aireación es el consumidor mas importante, Figura 8-1, lo que lo convierte en un egreso económico muy importante para el municipio de Gualaguaychú.

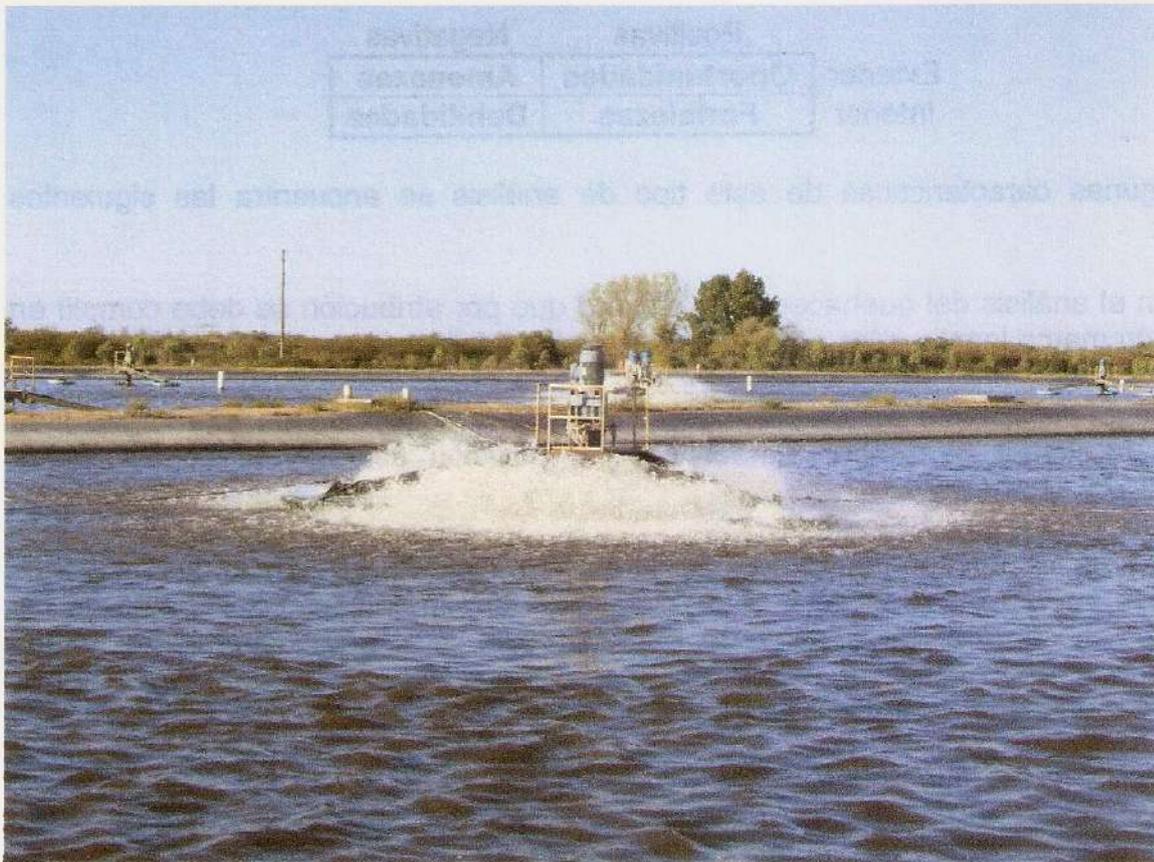


Figura 8-1 Vista de un sistema de aireación, uno de los equipos de mayor consumo.

D2. Rotura reiterativa de los sistemas de aireación y sus componentes

Se produce la rotura sistemática de los sistemas de aireación con una frecuencia elevada, que irrumpe en el correcto funcionamiento de la planta y en la economía de

mantenimiento. Al referirnos a los sistemas de aireación se hace mención al conjunto de aireadores - flotadores. Esta falencia se da por motivos de una baja calidad de los equipos, constante movimiento y las inclemencias del tiempo, nombrando así las razones más importantes.

D3. Producción de gases y salpicaduras peligrosas

Se ha tomado conocimiento por parte de los responsables de la planta en cuanto a la aparición de salpicaduras y un gas en la cámara pre-desarenador, Figura 8-2. Este efecto se produce en la salida de las cañerías del pozo de bombeo hacia los desarenadores. La caída del efluente sobre el líquido en la cámara genera además de salpicaduras, la aparición de un gas, que contiene una carga contaminante muy alta, ya que es producto del movimiento del efluente crudo, y que podría resultar riesgoso para el personal que esta en contacto, Figura 8-3.

Otra de la problemática en este proceso es la evaporación del efluente del desarenador. Esto se produce durante la época invernal, ocasionada por la diferencia de temperatura ambiente y la del efluente.

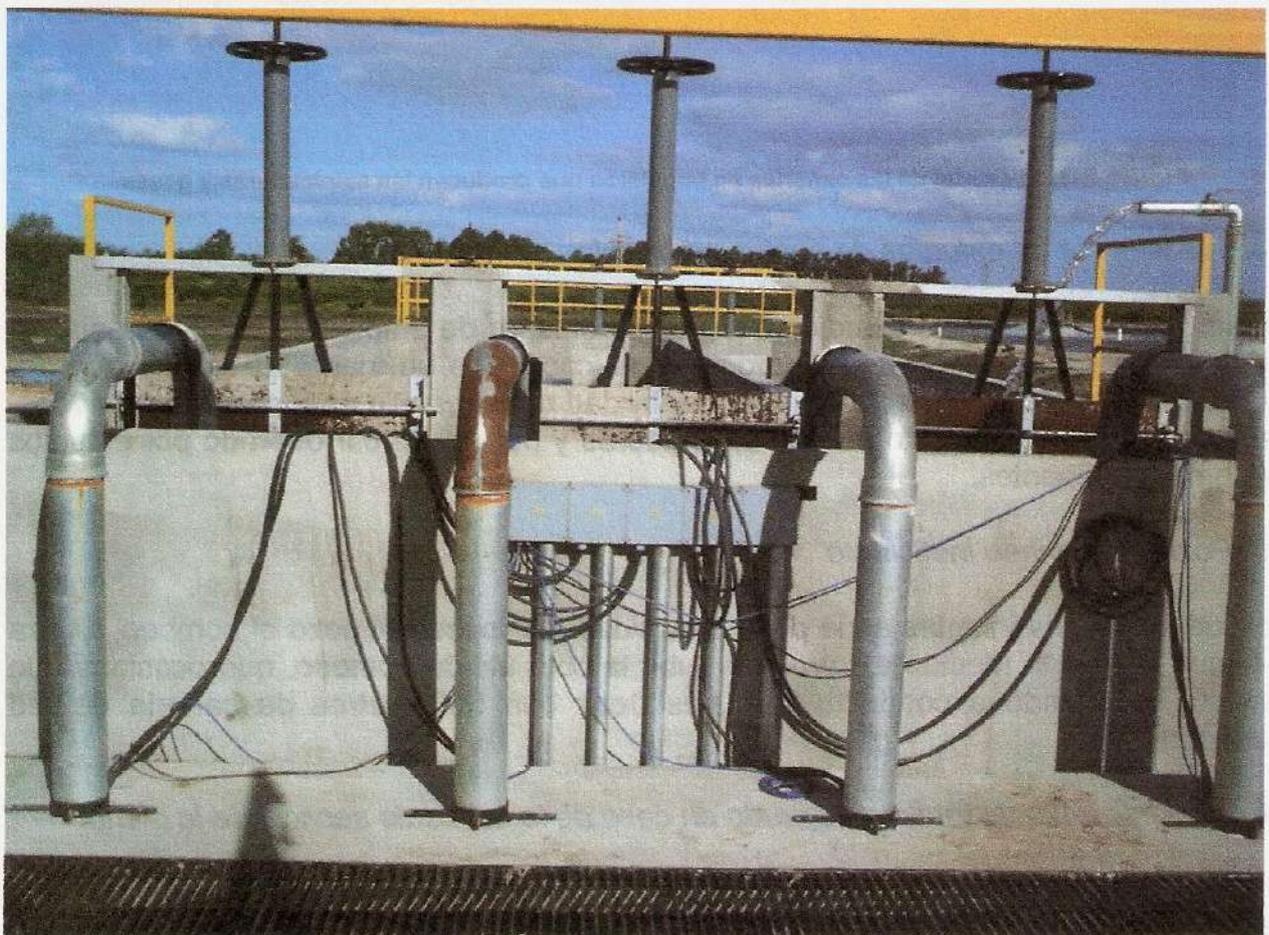


Figura 8-2. Zona de producción de los gases.



Figura 8-3. El caudal de las cañerías de impulsión que producen las salpicaduras y gases.

D4. Inexistencia de estudios de suelos pertinentes en la planta

No se tienen registros de estudios de suelos del lugar de emplazamiento de la planta. Existen tendencias que podrían suponer la ubicación de un manto de arcilla, que por sus características aseguraría la impermeabilidad del subsuelo ante posibles lixiviados, pero este dato es supuesto por los diseñadores y nunca fue corroborado por estudios de campo pertinentes.

D5. Pozo de bombeo ineficiente

Uno de los inconvenientes es la poca capacidad que posee el pozo el bombeo, Figura 8-4, que llevo a la medida extrema de subir la cota útil de bombeo, que ocasiona que se esté trabajando a conducto lleno, es decir con 500 metros de cañería de red inundada.

D6. Efluente volcado totalmente crudo en caso de la salida de servicio de la planta

Al momento de salir de servicio la planta, los caudales son desviados directamente hacia el cuerpo receptor, volcándose crudo sobre este último. A pesar de la suposición del personal de la planta sobre la dilución del efluente (se diluye hasta en un 100:1, lo que se toma como un valor suficiente para suponer que el impacto no es tan importante), no se han hecho mediciones al respecto.



Figura 8-4. Interior del pozo de bombeo.

D7. Deficiente tratamiento de los residuos sólidos

Los residuos de la cámara de reja y desarenador son enterrados en el suelo de planta. Estos sólidos, Figura 8-5, también constituyen un problema, ya que no se proyectó un uso o destino para estos al momento de proyectar la planta, por este motivo, hoy se retiran del sistema, se embolsan, y se entierran en otro predio, en trincheras de un metro de ancho. El problema de esto, es que no se conoce la permeabilidad del suelo donde se los entierra, con lo que lo que puede ocurrir que en contacto con agua de lluvia, se produzca un líquido lixiviar, que contamine las napas.

A su vez, no se realiza la separación de sólidos orgánicos e inorgánicos antes de enterrarlos. Con lo que a pesar de la degradación de los orgánicos, una gran parte de residuos queda enterrado en una fosa con un tratamiento inadecuado de los mismos.

D8. Procesos faltantes para el correcto tratamiento de los efluentes

Son varios los procesos que aún faltan desarrollarse para la obtención de un producto final con la calidad que las normas exigen.

Entre ellos se puede nombrar que la planta de tratamientos cuenta con un sistema de cloración, Figura 8-6 y Figura 8-7. Todo el sistema está listo para operar, pero durante el tiempo de realización de esta investigación presentaba como principal déficit el faltante del sistema incorporador de agua, que debía contar con una provisión mínima

de agua de 35.000 litros diarios para llevar adelante el proceso. Otro aspecto importante que se considero según los técnicos de la planta, es que el proceso de cloración puede producir como secuela la generación de "clorinas" que son toxinas perjudiciales para la salud.



Figura 8-5. Vista de los residuos luego de pasar por la cámara de rejas.

Otra operación faltante es la limpieza de las piletas. Esta limpieza estaba proyectada para realizarla bianualmente, sin embargo no se ha realizado nunca. Esto lleva al incorrecto funcionamiento de la planta, reduciendo el tiempo de permanencia del agua residual en las piletas. Esta falta de limpieza se debe a que no se construyeron las playas para el secado de los barros, pese a que dentro del predio se encuentra el lugar físico proyectada para las mismas.

D9. Falta de recursos económicos

La planta no cuenta con los recursos económicos exclusivos suficientes. La economía municipal obliga a relegar tareas de reparación y mantenimiento importantes para el correcto funcionamiento de la planta, más aun en el caso de necesitarse la construcción de sistemas complementarios dentro de la planta.

Se debe tener en cuenta que esto se agudiza en gran medida por el gasto energético necesario para la labor del sistema.



Figura 8-6. Parshall donde se efectuaba la desinfección.

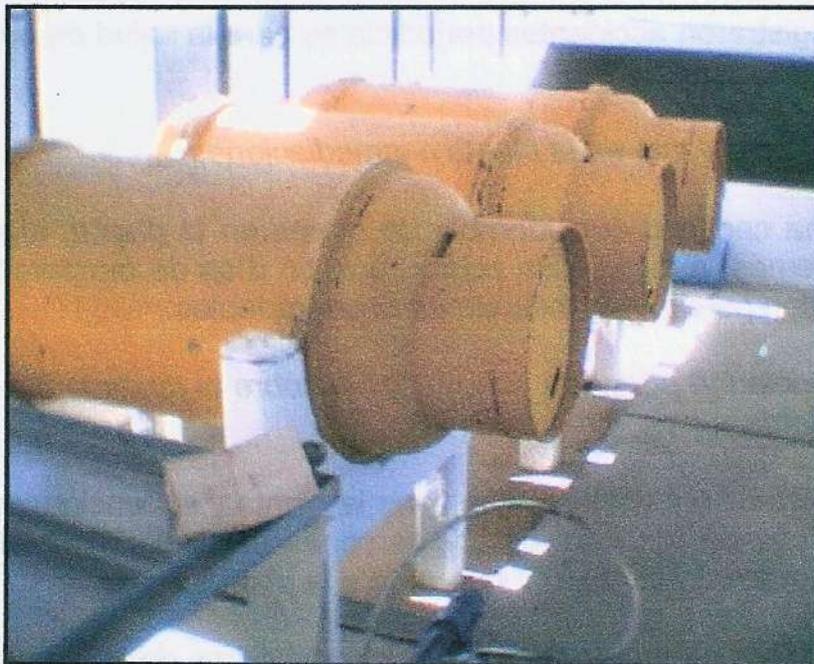


Figura 8-7. Tanques de cloro que se utilizaban para la coloración.

D10. Falta de chequeos médicos periódicos del personal

En la Fortaleza F3 se describe el claro apego del personal al uso de los elementos de seguridad. Sin embargo, no existe en la planta un plan de chequeos médicos que permita tener un control certero en cuanto a la salubridad del personal. Cabe destacar los empleados están en contacto, muchas veces directo, con efluentes cuya carga orgánica contaminante es elevada.



8.1.1.2. Fortalezas

F1. Infraestructura eléctrica adecuada para el funcionamiento

Es muy raro que el sistema salga de funcionamiento por falta de energía. La contratación del servicio garantiza el perfecto funcionamiento del sistema por contar con una línea exclusiva de suministro.

F2. Operatividad de la planta con mínimo de personal

La planta se maneja con solo dos personas por turno. Estos tienen a su vez un responsable a cargo.

F3. Apego a las normas de seguridad e higiene laboral

Los operarios utilizan los elementos de seguridad. Estos se componen de guantes, botas, barbijos, antiparras, etc., y son entregados en la planta a cada uno de los operarios.

Desde el inicio de las operaciones en la planta no se han registrado problemas de salud en los empleados, existiendo para ellos un plan de vacunación anual.

A su vez, no se registraron accidentes perjudiciales para la salud de operarios y demás personal hasta el momento.

F4. Baja producción de olores en la planta e inmediaciones

No se produce una cantidad considerable de olores en la planta, algo muy típico de esta clase de sistemas, aunque vale aclarar que en días de temperaturas elevadas y con viento se pueden percibir algunos olores desagradables.

F5. Difusión a la sociedad por parte del municipio sobre el cuidado del medio ambiente en función de la planta

Gran difusión pública de las ventajas que tiene la planta y su funcionamiento. Para esto se lleva a los chicos de las escuelas, y personas en general de distintos ámbitos, mostrando y educando en cuanto a lo referente a la planta.

F6. Predio con sobrada capacidad para la ubicación obras de reformas y ampliaciones en general

Las dimensiones del predio adquirido para la construcción de las piletas de tratamiento y sus instalaciones accesorias, Figura 8-8, hacen que se cuente con suficiente espacio para la construcción de las instalaciones faltantes.



Figura 8-8. Vista general del predio ocupado por la planta de tratamiento.

8.1.1.3. Amenazas

A1. Importante aumento de caudales en caso de lluvias

Para eventos de precipitación de cierta relevancia, los caudales que llegan a la planta para ser tratados es excesivo, Figura 8-9. Los desagües pluviales ocasionan un incremento de los caudales diarios de 160 l/h a 5000 l/h, lo que pone en evidencia que en caso de lluvias, existen muchas filtraciones de desagües pluviales que se incorporan a la red cloacal.

En estos casos la planta sale de servicio; se cierran las cámaras by pass, y se desvía el efluente hacia un cañadón que toma el agua de lluvia de la principal subcuenca del río Gualeguaychú.



Figura 8-9. Cámara colapsada por ingreso de efluentes en días lluviosos.

A2. Complejo habitacional cercano

Se encuentra un barrio de viviendas a unos 300m de distancia aproximadamente.

A3. Hurtos reiterados en las instalaciones

Existieron robos en la sala de cloración, siendo esta la zona más alejada de la planta, tomando como referencia la sala central de operaciones.

A4. Tratamiento de residuos con cargas contaminantes elevadas

Si bien los empleados utilizan elementos de seguridad, son un grupo de riesgo debido a que tratan con residuos contaminantes y de alta carga orgánica durante un tiempo prolongado del día y de manera periódica.

8.1.1.4. Oportunidades

O1. Relevante interés social por los impactos ambientales en la zona y el cuidado de los recursos naturales

La sociedad posee un compromiso muy importante con temas referentes al cuidado del medio ambiente y los recursos naturales.

O2. Existencia de líneas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar



Existen diferentes entidades que podrían facilitar los recursos económicos para la construcción de las instalaciones faltantes. La más importante, debido a que ya ha tenido participación en la financiación para la construcción de la planta, es el ENOHSA,



Figura 8-10. El ENOHSA financio las obras en la construcción de la planta.

03. Capacidad técnica profesional local para el desarrollo de los proyectos

Existen profesionales competentes para la realización de proyectos en los sistemas de tratamiento. La gran mayoría de ellos ha tenido participación en el proyecto de la planta de tratamiento desde su gestación.

04. Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de tratamientos de aguas residuales no escapan al avance de la tecnología en general. Por este motivo, es una oportunidad de relevancia en el estudio que nos ocupa.

FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
MONUMENTO HISTÓRICO NACIONAL

TEL/FAX: (03446) 4255 11 / 426000
Ing. PEREYRA OTS - PEREYRA OTS - CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
ENTRE RÍOS - REP. ARGENTINA



Matriz Plana FODA			
Fortalezas		Debilidades	
F1	Infraestructura electrica adecuada para el funcionamiento.	D1	Elevado consumo electrico
F2	Operatividad de la planta con minimo de personal.	D2	Rotura reiterativa de los sistemas de aireacion y sus componentes
F3	Apego a las normas de seguridad e hiegiene laboral.	D3	Produccion de gases y salpicaduras peligrosas.
F4	Baja produccion de olores en la planta e inmediaciones.	D4	Inexistencia de estudios de suelos pertinentes en la planta
F5	Difusion social sobre el cuidado del medio ambiente por parte de la planta.	D5	Pozo de bombeo ineficiente
F6	Predio con sobrada capacidad para la ubicacion obras de reformas y ampliaciones en general.	D6	Efluente volcado totalmente crudo en caso de la salida de servicio de la planta.
		D7	Deficiente tratamiento de los residuos solidos.
		D8	Procesos faltantes para el correcto tratamiento de los efluentes.
		D9	Falta de recursos economicos.
		D10	Falta de chequeos medicos periodicos del personal.
Oportunidades		Amenazas	
O1	Relevante interes social por los impactos ambientales en la zona y el cuidado de los recursos naturales.	A1	Importante aumento de caudales en caso de lluvias.
O2	Existencia de lineas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar.	A2	Complejo habitacional cercano.
O3	Capacidad tecnica profesional local para el desarrollo de los proyectos.	A3	Hurtos reiterados en las instalaciones.
O4	Aparicion de nuevas tecnologias para el tratamiento de aguas residuales.	A4	Tratamiento de residuos con cargas contaminantes elevadas

Tabla 8-1. Matriz Plana FODA.

8.1.2. Análisis y Matriz de estrategias

Se desarrolla a continuación las estrategias a emplear para el mejoramiento del funcionamiento del sistema de tratamiento de Gualeguaychú.

Estas soluciones surgen del entrecruzamiento de los factores FODA ya descriptos.

Con mayor detalle se desarrolla la solución al problema de los residuos sólidos en la planta. El mismo se puede observar en el punto 8.1.3.

8.1.2.1. Debilidades vs. Amenazas

Se desarrolla a continuación las estrategias que pretenden minimizar Debilidades y contrarrestar Amenazas, Tabla 8-2.

		Debilidades									
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
		Elevado consumo eléctrico	Rotura reiterativa de los sistemas de aireación y sus componentes	Producción de gases y salpicaduras peligrosas.	Inexistencia de estudios de suelos pertinentes en la planta	Pozo de bombeo ineficiente	Efluente volcado totalmente crudo en caso de la salida de servicio de la planta	Deficiente tratamiento de los residuos sólidos.	Procesos fallantes para el correcto tratamiento de los efluentes.	Falta de recursos económicos.	Falta de chequeos médicos periódicos del personal.
Amenazas	Importante aumento de caudales en caso de lluvias.	A1				*	*	*			
	Complejo habitacional cercano.	A2						*			
	Hurtos reiterados en las instalaciones.	A3							*		
	Tratamiento de residuos con cargas contaminantes elevadas	A4									*

Tabla 8-2. Matriz Debilidades – Amenazas Gualeguaychú.

D5 – D6 – A1

Durante el proyecto de la planta se construyó una pileta impermeabilizada con membrana que sirvió de prototipo para las pruebas de los posibles sistemas de aireación a aplicar, Figura 8-11. Esta pileta se encuentra actualmente sin uso, aunque en buen estado de conservación.



Figura 8-11. Pileta de prueba de aireadores.



Ya se explico en la memoria descriptiva de los procesos de la planta que para caudales superiores a 1400 m³/h la misma sale de servicio, volcándose el líquido crudo al arroyo.

También se explico la problemática que presentaba el pozo de bombeo, que debido a su pobre capacidad obligo a aumentar la cota útil de trabajo de las bombas, ahogando 500m de cañería que lleva el efluente hasta dicho pozo.

Para evitar esto se plantea utilizar la ex pileta de pruebas como un compensador para aquellos casos en los que se superen los 1400 m³/h, que es el límite de capacidad de tratamiento de la planta.

Es decir, para caudales normales (entre 500 m³/s y 1400 m³/s) la planta trabaja de la manera tradicional, pero para cuando se supera el valor máximo, en vez de abrir la cámara de by pass y dejar que el efluente pase sin tratar al arroyo, este se vierte a la pileta compensadora, la cual recibe el efluente en exceso mientras vuelca a la planta de tratamiento el caudal máximo permitido para la correcta operación (1400 m³/s).

Esta misma pileta puede trabajar no solo en caso de la superación del caudal limite, sino también como una ampliación del pozo de bombeo, bajando así la cota útil del mismo y despresurizando los 500m de cañería.

Esta claro que para grandes caudales la pileta quizás cumpla su función de compensadora durante un tiempo (hasta su llenado), luego del cual el efluente si debe ser volcado en la manera en la que se viene haciendo.

De esta manera, se presenta una solución razonable a dos problemas importantes con un mínimo de obras, ya que la pileta compensadora, que sería el mayor costo de construcción, ya está emplazada y sin uso.

D8 – A3

Si bien se cuenta con el sistema para realizar la desinfección de los líquidos el mismo se encuentra fuera de servicio. No se pudo recabar información certera en cuanto a los porque de la falta de desinfección. Este es un tratamiento fundamental para la calidad del efluente final ya que es el contralor determinante de la cantidad de coliformes final de efluente tratado.

Entre las conclusiones en cuanto a la falta de este sistema, se expreso por personal de la planta que se trataba de reiterados robos en las instalaciones dedicadas a la cloración.

Otro de los problemas expresados daba cuenta de la producción de clorinas al incluir este método. Sin embargo, las clorinas son producto de una mala dosificación del cloro, con lo que se debería corregir fácilmente.

Pese a no saber si la falta de funcionamiento del sistema se debe a los hurtos, está claro que los mismos condicionan la puesta en marcha. El sistema de cloración se



encuentra alejado del edificio principal de la planta, ayudando este aislamiento a la sustracción de los elementos.

Además de los problemas que puede significar el robo reiterativo, existe también un peligro latente para toda aquella persona que intenta manipular el equipamiento que allí se encuentra, debido a que se encuentran elementos que trabajan con alta tensión y la peligrosidad química que representa el contacto masivo con cloro.

Para minimizar esta amenaza se plantea la colocación de un sistema de alarma, teniendo en cuenta de que existe personal de planta las 24 hs. Pero además se debe agregar a este sistema un correcto vallado en el lugar.

En cuanto al segundo de los problemas mencionado, hay que decir que debido a la falta de datos con los que se cuenta, se hace imposible hacer un cálculo de dosificación de cloro para minimizar la amenaza planteada. Pero es de destacar que si este es el mayor de los problemas por los cuales el sistema no funciona, tiene una solución simple y efectiva.

Vale hacer la aclaración de que, si bien el sistema no se encuentra en funcionamiento, existe todo el equipamiento para que lo haga correctamente. Por este motivo es que se hace hincapié en poner el sistema en funcionamiento nuevamente, ya que en caso contrario se está desperdiciando de la utilización de un sistema clave para esta clase de tratamientos.

D10 – A4

Como se puede observar del análisis de la matriz FODA general, se ha dejado en claro que existe por parte del personal que trabaja en la planta un apego a las normas de seguridad e higiene en el trabajo. Además la planta cuenta con los elementos de seguridad y las herramientas apropiadas para el correcto trabajo del personal.

A su vez, se realiza una vacunación anual de la totalidad de los empleados de planta.

Sin embargo, pese al buen control sanitario del personal, no se cuenta con una programación de chequeos médicos preventiva, que permitan tener un verdadero control de la salud de los empleados.

Esto sería importante llevarlo a cabo ya que el personal se encuentra en un ambiente donde las sustancias tratadas pueden ser de peligrosidad en caso de exposición continua durante un tiempo prolongado. Esta peligrosidad se incrementa de sobremanera en los casos en los que se forman gases y salpicaduras, tales como los ocurridos en la cámara de bombeo.

D7 – A1 – A2

Ya se explico con anterioridad que aun en el caso de poner en funcionamiento la pileta de pruebas que se encuentra en desuso como compensadora, de manera de aliviar los caudales extraordinarios y permitir trabajar a la planta en un mayor rango de tiempo, existirán casos en los que se deberán volcar los efluentes crudos tal como se hace



hasta el momento. El efluente, en caso de proceder de lluvias y residuales, se encuentra diluido en 1:100, con lo que los impactos al cuerpo receptor deberían de ser menores. Sin embargo no se han realizado estudios que así lo comprueben, siendo esta solo la versión del personal de planta.

Tomando en cuenta la falta de datos y la imposibilidad de colocar un sistema que nos permita el tratamiento de esos caudales a costos razonables, se opta por tomar como válida la palabra del personal encargado.

Sin embargo, es necesario tratar de que los residuos sólidos gruesos no puedan llegar al cuerpo receptor, con lo que se plantea la colocación de un sistema de desbaste que permita la retención de los sólidos mas gruesos antes de que los mismos sean volcados al arroyo y de este finalmente en el río.

La construcción de esta cámara de retención evitaría la contaminación del arroyo de descarga, y el impacto que genera esta clase de residuos tanto ambientalmente como así también el visual.

8.1.2.2. Debilidades vs. Oportunidades

Se desarrolla a continuación las estrategias que pretenden minimizar Debilidades y explotar Oportunidades, Tabla 8-3.

		Debilidades									
		Elevado consumo eléctrico	Rotura reiterativa de los sistemas de aireación y sus componentes	Producción de gases y salpicaduras peligrosas.	Inexistencia de estudios de suelos pertinentes en la planta	Pozo de bombeo ineficiente	Efluente volcado totalmente crudo en caso de la salida de servicio de la planta.	Deficiente tratamiento de los residuos sólidos.	Procesos faltantes para el correcto tratamiento de los efluentes.	Falta de recursos económicos.	Falta de chequeos médicos periódicos del personal.
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Oportunidades	Relevante interes social por los impactos ambientales en la zona y el cuidado de los recursos naturales.	O1			*			*			
	Existencia de líneas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar.	O2								*	
	Capacidad técnica profesional local para el desarrollo de los proyectos.	O3								*	
	Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.	O4	*								

Tabla 8-3. Matriz Debilidades – Oportunidades Gualeguaychú.

D4 – D7 – O1

Los residuos que se desprenden de distintas etapas no cuentan con el tratamiento adecuado. En realidad existe una combinación de mal tratamiento de los desechos con un peligroso desconocimiento de las características del suelo en la planta.



Según se pudo corroborar, los residuos provenientes de la cámara de rejas, desarenador y demás, son enterrados en unas trincheras destinadas para tal fin dentro del predio de la planta. El mayor riesgo se da en que ante el desconocimiento de las características de los suelos, los lixiviados de los residuos pueden estar contaminando las napas, además del problema de la degradación natural de los residuos.

Si bien el enterramiento de los residuos, como el que cuenta la planta en estos momentos, es una alternativa para el tratamiento de los desechos (ya que las cargas a tratar no son excesivas), se plantea como solución la construcción y diseño de un relleno sanitario acorde a la cantidad de residuos a tratar.

A su vez, el diseño contemplara todas aquellas medidas que minimicen los problemas de salubridad del ambiente donde se instalen.

Si bien el relleno sanitario no es el mejor de los métodos utilizados en la actualidad, una eliminación de los residuos por dichos métodos (plantas de tratamiento de residuos sólidos, incineración, etc.) implicaría una solución totalmente incompatible desde lo económico, llevando este planteo de remediación a una simple expresión de deseo, inconcretable con los recursos y tecnología al alcance.

El desarrollo de la solución se plantea en el punto 8.1.3.

D9 - O2 - O3

La mayoría de los municipios se encuentran en una situación complicada desde el punto de vista económico y Gualaguaychú no es la excepción. Por este motivo se debe tratar de explotar al máximo los recursos existentes.

Por otro lado, en el proyecto y construcción de la planta participaron profesionales de la ciudad y la región, algunos aun ligados a tareas dentro de la misma. Esto conlleva a pensar que todas aquellas obras o reparaciones planteadas en este estudio o en otros sucesivos, pueden ser proyectadas por dichos profesionales.

Esto presenta la ventaja, desde lo económico, de poder desprenderse de la consultorías externas, ya que se cuenta con capacidad técnica suficientemente calificada internamente.

Desde lo profesional presenta una ventaja de gran importancia. El personal mencionado conoce a la perfección la problemática que se presentó en la confección del proyecto original, como así también los defectos y virtudes que ha presentado la planta durante el tiempo que lleva en funcionamiento. Esta complementación entre la teoría y la realidad lleva a disminuir toda incertidumbre que se tiene a la hora de la toma de decisiones en cuanto a los procesos y métodos a aplicar en la planta, mejorando de esa manera la eficiencia del producto final. Con esto queda claro que la experiencia adquirida en el proyecto original por parte de los profesionales participantes es una oportunidad que se debe explotar en toda su magnitud, teniendo en cuenta la importancia que ello tiene en esta clase de proyectos. Importancia que se traduce en réditos económicos, debido a la eficacia final.



Si bien, como se aclaró en el párrafo primero, la situación financiera del municipio es delicada, existen líneas de financiamiento que se pueden explotar. Entre ellas, la más importante es la del ENHOSA, ya que ha participado con anterioridad en el municipio, pues, como se explicó en la memoria descriptiva de la planta fue la encargada de financiar las obras para la construcción en la segunda etapa.

Los procedimientos que se deben cumplir para poder acceder al préstamo de alguna de estas entidades escapan los alcances de este estudio, queriendo con esto dejarse en claro que existen organismos que pueden financiar las obras, siendo esto una alternativa a la problemática económica del municipio.

D1 - 04

El avance de la tecnología en general es innegable y la complementación de esta al tratamiento de las aguas residuales no es la excepción. Por este motivo que la aparición de nuevos sistemas es una oportunidad del mercado que no se debe obviar, tratándose en este caso de aplicar procedimientos novedosos para el trabajo con los sistemas tradicionales ya instalados.

Actualmente la planta cuenta con un sistema que necesita, para su correcto funcionamiento, un consumo de energía muy importante. Como ya se ha comentado en la descripción de la planta de Gualaguaychú, el consumo eléctrico de este sistema le significa al municipio en el orden de \$ 30000 a \$ 50000 mensual, que es un número más que importante para una municipalidad como la de Gualaguaychú. Más aun si tenemos en cuenta que el número planteado se podría disparar en caso de que los valores de la energía se incrementen, según lo comentado en la actualidad por organizaciones estatales con incumbencia en el tema.

Sin duda esta Debilidad es complicada de minimizar de manera sencilla si se le quiere dar un corte definitivo.

Vale aclarar que desde el inicio de las actividades en la planta estaba proyectada la construcción de las playas de secado de barros a los 3 años de funcionamiento de la misma. Sin embargo, por problemáticas que escapan al conocimiento de los que suscriben este trabajo, las mismas no fueron realizadas. La planta cuenta con el espacio suficiente para la realización de la obra.

Sin dudas la acumulación excesiva de barros que presentan las piletas provoca una disminución de la eficiencia, pues los barros han hecho disminuir el tirante en las piletas y como consecuencia se da una disminución del tiempo de retención en las mismas.

En este sentido se podría plantear la construcción de las playas de secado de barros según los métodos y formas tradicionales de esta clase de obras, pero en vista de la problemática surgida a partir de un consumo excesivo de energía se opta por plantear un sistema que de una solución definitiva a esta Debilidad.

La aparición en el mundo de metodologías que intentan el aprovechamiento al máximo de los recursos con los que se cuenta, en pos de la búsqueda de energía alternativa,



nos lleva a pensar en la creación de una planta que pueda transformar los barros tratados en biogás, y utilizar el mismo para la generación de energía eléctrica.

Esta metodología está siendo implementada de forma considerable en Europa, siendo Alemania uno de los países de ese continente con mayor desarrollo en este sentido. Además, la complicada y costosa tecnología de los primeros avances en el tema, se ha revertido sustancialmente en nuestros días. Se puede encontrar así desarrollos de este tipo en distintas escalas y con materia prima de diversa procedencia, teniendo la mayoría resultados exitosos y con cortos tiempos de amortización.

Este sistema presenta varias ventajas:

Permite la reutilización de un desecho de la planta para la generación de energía, es decir que estamos en presencia de una energía alternativa totalmente sustentable.

El sistema cumple exactamente igual función que la playa de secado de barros.

Los tiempos de retención y tratamiento de los barros en esta clase de sistemas es muy inferior a los de la playa de secado tradicional, con lo que se logra una importante optimización en el tratamiento de barros. Vale hacer la aclaración de que en muchas plantas con sistemas tradicionales (Federación por ejemplo), las playas de secado no cumplen su función debido a que se da una excesiva acumulación de barros en las mismas, producto del aumento paulatino del agua residual a tratar, reduciendo los tiempos de estacionamiento del barro en las playas. En caso de plantas con un correcto funcionamiento de las playas, se deben contar con grandes superficies de secado.

Al optimizarse en gran medida los tiempos de tratamiento, permite la limpieza con más frecuencia de las piletas, manteniendo así una máxima eficiencia y de manera uniforme.

El agua residual obtenida puede ser utilizada para riego de quintas y huertos, ya que tiene grandes beneficios como fertilizante.

Los estudios a realizar para determinar los costos de ejecución y la factibilidad ejecutiva para poner en marcha un proyecto de este tipo escapan a los lineamientos de este trabajo. Sin embargo se inferirá, en base a metodología empírica, la posible generación eléctrica que se lograría y los costos asociados. Estos últimos sacados en comparación con proyectos ya en marcha en el país.

Según la información recolectada en la planta de tratamiento, la potencia instalada es de 550 Kw/h.

Sin un análisis profundo, se adopta un coeficiente de simultaneidad de 0,5. Aplicando este coeficiente se determina que la energía a entregarse debe ser de $0,5 \times 550 \text{ Kw/h} = 300 \text{ Kw/h}$ aproximadamente.

La producción de biogás teórica a producir con esta clase de residuos esta dada entre 0.1 y 0.5 m³ de biogás por kilo de DQO entrante. [Utilización y valorización de los sub



productos de las plantas de tratamiento de las aguas residuales; Ph. Conil]. Para nuestro caso adoptaremos un valor medio de 0,3.

De los análisis muestrales, se puede determinar una DQO media entrante en las lagunas de sedimentación de 150.

De esta manera se puede inferir una producción de biogás de $0,3 \times 150 = 45\text{m}^3$ de biogás.

El biogás obtenido en los digestores contiene de 60 a 80% de Metano y su poder calorífico es de aproximadamente 6 kWh/m^3 (800 BTU/pie^3), lo que permite emplearlo con propósitos de generación de energía; en iluminación y medio de calentamiento para cocción de alimentos; como combustible para una caldera; para calentar un espacio o en equipos de refrigeración. [tecnología del Biogas; Juan Pablo Silva Vinasco, Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente].

Adoptando estos valores se determina la generación a producir con Biogás:

$$45\text{m}^3 \times 6 \text{ kWh/m}^3 = 270 \text{ kWh}$$

Como se puede apreciar del análisis anterior, prácticamente la totalidad de la necesidad energética se estaría atendiendo con este sistema.

Para determinar el costo de instalación de esta tecnología se hace una comparación con un proyecto de similares características, en cuanto a los volúmenes de biogas que se manejan, realizado en el país. Este proyecto fue realizado en la provincia de Santa Fe, se trata de la Granja "Marujo" propiedad del Sr. Jan Haasjes. El informe técnico fue realizado por el Médico Veterinario Federico Vienny del Departamento Técnico de la Empresa Teknal y por el Ing. Agr. José María Mendez de INTA Totoras.

Para esta clase de instalación el propietario aclara, sobre el costo de instalación, que "el valor actualizado hoy puede estar en unos 200.000 U\$S". Poniéndonos a resguardo, y debido a algunas diferencias entre ambos proyectos, se podría adoptar un costo de instalación de 370.000 U\$S. Adoptando un valor de cambio de 3.8, se estaría hablando de aproximadamente un costo de inversión de \$ 1.400.000.

Si se adopta un valor medio del consumo de energía de la planta, dado en \$40.000, se determina que en 1 año la planta gasta \$ 480.000.

Haciendo la relación:

$$1.400.000 / 480.000 = 2.91 \text{ años}$$

Así se puede apreciar que en aproximadamente 3 años se estaría recuperando la inversión. Este valor de 3 años es más que alentador para fomentar futuros estudios. Se debe tener en cuenta que a luego de los 3 años, la planta y el municipio estaría en condiciones de ahorrar \$ 500.000 mensuales.



constituye un tratamiento natural para el problema de los olores, mientras que a su vez se logra una integración natural de la planta al ambiente.

F3 – A4

Como se puede observar del análisis de la matriz FODA general, se ha dejado en claro que existe por parte del personal que trabaja en la planta un apego a las normas de seguridad e higiene en el trabajo. Además la planta cuenta con los elementos de seguridad y las herramientas apropiadas para el correcto trabajo del personal. A su vez, se realiza una vacunación anual de la totalidad de los empleados de planta.

Sin embargo, pese al buen control sanitario del personal, no se cuenta con una programación de chequeos médicos que permitan tener un verdadero control de la salud de los empleados.

Esto sería importante llevarlo a cabo ya que el personal se encuentra en un ambiente donde las sustancias tratadas pueden ser de peligrosidad en caso de exposición continua durante un tiempo prolongado. Esta peligrosidad se incrementa de sobremanera en los casos en los que se forman gases y salpicaduras como las explicadas en D3.

Por este motivo, se plantea tener un profesional competente, ya sea médico o en Seguridad e Higiene, que pueda determinar la peligrosidad del trabajo llevado a cabo y establecer así planes preventivos para la salud de los trabajadores.

De esta manera se maximizaría la fortaleza y minimizaría de forma total la debilidad en estudio.

8.1.3. Desarrollo de alternativas

Existen en la actualidad una variada gama de tecnologías para el tratamiento de los residuos sólidos, sin embargo, la gran mayoría de ellas son de difícil aplicación desde el punto de vista técnico, económico o ambos.

Sin dudas el relleno sanitario no es el mejor ni más avanzado de los sistemas para tratar los residuos, pero teniendo en cuenta lo dicho en el párrafo anterior y los pequeños volúmenes a tratar (en comparación con rellenos sanitarios para la totalidad de la población) se ha elegido el relleno sanitario.

Los volúmenes reducidos que se comentan inclina la toma de la decisión, teniendo en cuenta que los impactos producidos serán bajos.

Como conclusión a lo dicho se muestra a continuación una serie de párrafos extraídos de la bibliografía consultada:

“Hasta la fecha, el relleno sanitario es la técnica que mejor se adapta a la Región (América Latina) para disponer de manera sanitaria los residuos, y esto tanto desde el punto de vista técnico como económico.”



8.1.2.3. Fortalezas vs. Oportunidades

Se desarrolla a continuación las estrategias que pretenden maximizar Fortalezas y contrarrestar Amenazas, Tabla 8-4.

		Fortalezas					
		Infraestructura eléctrica adecuada para el funcionamiento.	Operatividad de la planta con mínimo de personal.	Apego a las normas de seguridad e higiene laboral.	Baja producción de olores en la planta e inmediaciones.	Difusión social sobre el cuidado del medio ambiente por parte de la planta.	Predio con sobrada capacidad para la ubicación obras de reformas y
		F1	F2	F3	F4	F5	F6
Oportunidades	Relevante interés social por los impactos ambientales en la zona y el cuidado de los recursos naturales.	01					
	Existencia de líneas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar.	02					
	Capacidad técnica profesional local para el desarrollo de los proyectos.	04					
	Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.	05					

Tabla 8-4. Matriz Fortalezas – Oportunidades Gualeguaychú.

F4 – A2

Si bien la planta no presenta problemas de olores, durante ciertos días de verano y con viento se pueden percibir olores desagradables. Se insiste de que esto sucede en casos aislados y que la generalidad de esta clase de plantas de tratamiento no producen olores percibibles. Sin embargo, la presencia de plantas de este tipo y la producción de olores, aunque sea muy moderada, sugestionan psicológicamente y produce molestia en las personas.

En conclusión, si bien pueden no presentarse problemas sanitarios con la presencia de la planta, existe un impacto visual importante y si se suma a esto la emisión de olores, se genera una sugestión que se traduce en la tendencia de los pobladores a pensar en lo perjudicial que para su salud puede representar los tratamientos que se llevan a cabo con los líquidos residuales y la disminución del confort ambiental debido a la implantación de los sistemas de tratamiento en el lugar.

Para remediar esta problemática se plantea la colocación de una cortina de árboles y el parqueado de la zona. Con esto se amengua en su totalidad el impacto visual y se



“La implantación de rellenos sanitarios es necesaria, bien sea como solución exclusiva, bien como destino de los rechazos de otros sistemas.”

Con todo, el relleno sanitario se encuentra en el nivel más bajo de la jerarquía de la gestión integral de residuos sólidos porque representa el último medio deseable para manejarlos.

Sin embargo, conviene preguntar, ¿Qué hacer con:

los residuos que no pueden ser reciclados ni tener un uso diferente?

los materiales residuales que permanecen después de que los RESIDUOS SÓLIDOS han sido sometidos a un proceso de discriminación en una planta de separación de materiales?

los materiales residuales que permanecen después de que los residuos sólidos han sido sometidos a un proceso de conversión de productos o energía?

Así, la disposición final de residuos, segura, confiable y de largo plazo debe ser un componente importante en la gestión integral de estos, sobre todo si se considera que muchos de estos materiales son irre recuperables para el ciclo productivo. De ahí que la única alternativa aceptable sea el relleno sanitario, con el que de una vez por todas se elimina la práctica del “botadero de basura”.

En conclusión, la prioridad en la gestión de residuos sólidos, relacionada con su tratamiento y disposición final, debe estar orientada a la construcción de rellenos sanitarios, puesto que es urgente minimizar los riesgos para la salud de la población, frenar la contaminación del medio ambiente y el deterioro de los recursos naturales. [CEPIS, “Planes directores del manejo de los residuos sólidos municipales”]

8.1.3.1. *Proceso de mejoramiento continuo en la disposición final de residuos sólidos*

Los sistemas de disposición de los residuos se han ido perfeccionando con el paso del tiempo. En la Figura 8-12 se muestra una escala evolutiva de los procesos más comúnmente utilizados.

La práctica común de disposición final de residuos sólidos en América Latina es el botadero de basura a cielo abierto. [CEPIS, “Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios”, 2005].

En cuanto a la planta de Gualeguaychú, el sistema que se utiliza actualmente es el de enterramiento.

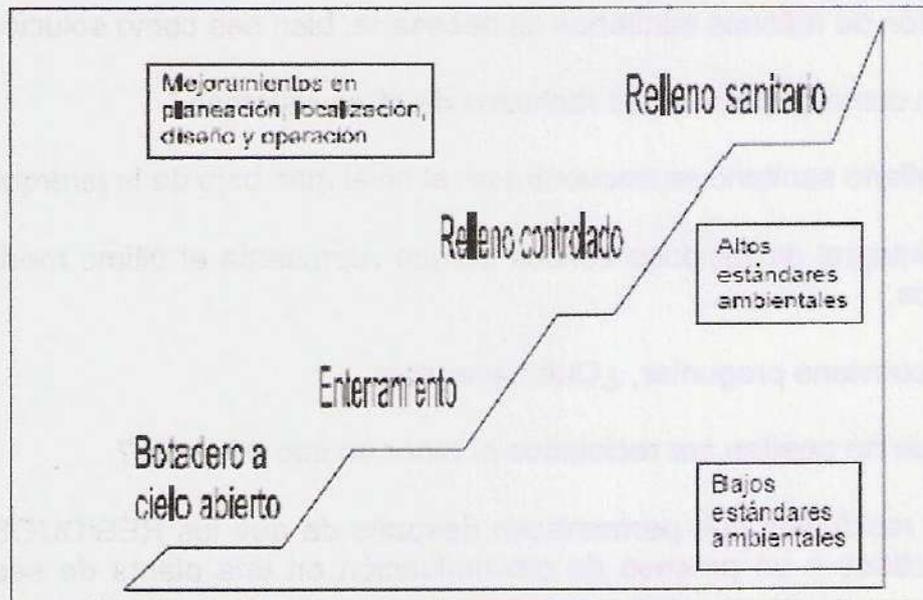


Figura 8-12. Escala evolutiva de procesos.

8.1.3.2. Propuesta de un sistema integrado de tratamiento y disposición final

En los últimos años está tomando fuerza, previa evaluación de las condiciones locales, la propuesta para que en un solo lugar se puedan concentrar tanto las actividades de clasificación y acopio de los subproductos recuperados de los residuos, los sistemas de tratamiento de residuos orgánicos por medio del proceso de compostaje en pilas y lombricultura, así como la disposición final en un relleno sanitario y la incineración en hornos especiales de los residuos infecciosos o su disposición en una celda especial.

Es posible la integración de estos sistemas en una misma área siempre y cuando cada uno tenga su propia infraestructura y no se los descuide por buscar solo el beneficio económico. [CEPIS, "Planes directores del manejo de los residuos sólidos municipales"]

En este caso solo se tratara a nivel de inventario solo para la solución del relleno sanitario, pero se quiere dejar en claro de que, ha futuro, el sistema propuesto está en condiciones de complementarse con otros sistemas de tratamiento de manera de poder dar un tratamiento más integral a los residuos sólidos.

8.1.3.2.1. Características del terreno

La geología y características específicas del suelo del terreno son algunos de los factores más importantes que hay que tener en cuenta a la hora de seleccionar el sitio. Gracias a estos se puede obtener información acerca de posibles desplazamientos de las infiltraciones de agua y de una eventual contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Al mismo tiempo, el estudio del suelo permite evaluar la estabilidad del terreno y la localización y calidad del banco de material de cobertura. [CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005].

En el caso de la planta de Gualaguaychú, ya se ha mencionado la inexistencia de estudios de suelos en la planta. Esto dificulta de sobremanera la correcta elección del sistema en cuanto al suelo. Por tal motivo, en una etapa avanzada de análisis se deberán ejecutar los estudios pertinentes.



Para el caso que nos ocupa no es necesario que dichos estudios sean demasiado rigurosos si, como ya se dijo, se considera la reducida magnitud de las obras y el tipo de residuos que generan.

En lo posible, se debe recurrir a los servicios de un geólogo o de otro profesional con conocimientos en la temática.

Los estudios de campo pueden consistir solo en simples pruebas de percolación y análisis del suelo. [CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005].

A continuación, se hará una breve descripción de los principales parámetros que se deben tener en cuenta en el análisis y la evaluación del terreno, los cuales sirven de base para estudios futuros:

Tipo de suelo: un relleno sanitario debe estar localizado de preferencia sobre un terreno cuya base sean suelos areno-limo-arcillosos (arena gruesa gredosa, greda franco-arcillosa); también son adecuados los limo-arcillosos (franco limoso pesado, franco-limo-arcilloso, arcillo-limoso liviano) y los arcillo-limosos (arcillo-limoso pesado y arcilloso). Es mejor evitar los terrenos areno-limosos (francoarenosos) porque son muy permeables. [CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005].

Permeabilidad del suelo: es la mayor o menor facilidad con que la percolación del agua ocurre a través de un suelo. El coeficiente de permeabilidad (k) es un indicador de la mayor o menor dificultad con que un suelo resiste a la percolación del agua a través de sus poros. En otras palabras, es la velocidad con la que el agua atraviesa los diferentes tipos de suelo.

Para ilustrar mejor lo anterior, presentamos la Figura 8-13, donde se aprecia el tipo de suelo y su relación con el coeficiente de permeabilidad. [CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005].

k (cm/s)	10 ²	10 ⁴	10	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaje	Bueno						Malo	Prácticamente impermeable				
Relleno sanitario	Pésimo								Bueno			
Tipo de suelo	Grava gruesa (cascajo)	Arena limpia, arena mezclada con grava			Arena muy fina, suelos orgánicos e inorgánicos, mezcla de limo-arenoso y arcilla			Suelo impermeable modificado por efecto de la vegetación y la intemperización				
				Suelo impermeable; por ejemplo: arcilla homogénea debajo de la zona de intemperización								

Figura 8-13. Tipos de suelos y coeficientes de permeabilidad.

Profundidad del nivel freático: tiene que ver con la altura de la tabla de aguas o la altura dominante del nivel freático. Se deberán preferir los terrenos bien drenados y con la tabla de aguas a más de un metro de profundidad durante todo el año. Los terrenos pobremente drenados, o sea, aquellos que en la tabla de aguas se mantienen la mayor parte del año por debajo de un metro, se deben drenar de manera artificial. En estos

casos es mejor descartarlos, sobre todo los que permanecen inundados durante largos periodos. [CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005].

Disponibilidad del material de cobertura: los terrenos planos, que cuentan con un suelo limo-arcilloso y el nivel freático a una profundidad tal que no haya posibilidad de contaminar las aguas subterráneas por la disposición de residuos, pueden ofrecer una buena cantidad de material de cobertura, en especial si se decide usar el relleno en zanjas. Por el contrario, si el terreno tiene un suelo arenoso o si el nivel freático está a poca profundidad (a menos de un metro), primero se tendrá que impermeabilizar el terreno y, luego, acarrear el material de cobertura desde otro sitio, lo que elevará enormemente los costos, de ahí que sería preferible descartarlo. [CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005].

Debido a los pequeños volúmenes a tratar, que tendrán un impacto moderado; a la falta de conocimiento del suelo en cuestión; y a la creencia, de idóneos en la temática, en cuanto a las cualidades positivas del suelo de la planta; se optara por tomar al suelo como válido para la realización del relleno sanitario, sin necesidad de impermeabilizaciones. Sin embargo, esto no quita la necesidad de realizar los estudios que se citaron en los párrafos precedentes.

8.1.3.2.2. Características climatológicas de la zona

La precipitación pluvial, la evaporación, la temperatura y la dirección del viento son los principales datos climatológicos que se deben recopilar para establecer las especificaciones de diseño de la infraestructura del relleno sanitario y tener un mejor conocimiento de las condiciones a las que estará sometida la obra en general (Figura 8-14). [CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005].

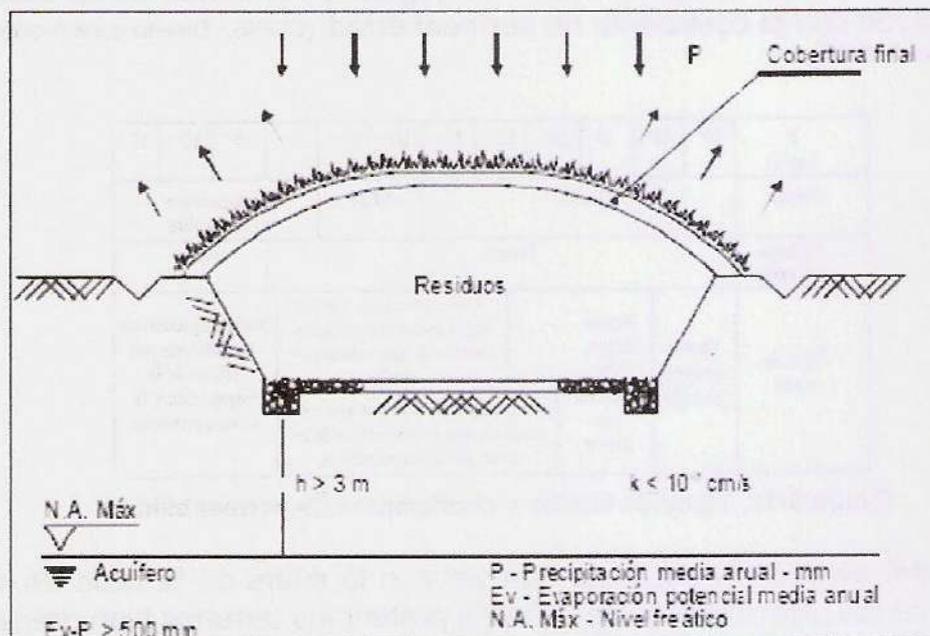


Figura 8-14. Condiciones climatológicas del relleno



Para el caso de estudio se tendrá en cuenta solamente la precipitación pluvial. Estas nos determinarán las condiciones a las que deberá responder nuestro sistema de drenaje de lixiviados.

Los demás parámetros, si bien tienen su importancia, escapan a los alcances de este inventario, debiendo determinarse en etapas más avanzadas.

8.1.3.2.3. Diseño del relleno sanitario

A continuación se hará el diseño del relleno sanitario. Como ya se explicó en el marco teórico, existen distintos tipos. En nuestro caso se adoptará el relleno en trincheras, debido a que las cargas a tratar son pequeñas, necesita menos área y es un método de fácil aplicación para el caso que se trata (costos operacionales bajos, fácil manipulación de los residuos, no existe necesidad de aplicar maquinaria para la compactación de los residuos, etc.)

8.1.3.2.4. Volúmenes de residuos a tratar

De las memorias descriptivas y distintos documentos entregados en la planta se pudo saber que la planta ha retirado, durante su primer año de funcionamiento, aproximadamente 52000 kg de residuos.

Sin embargo, datos determinados por estudios anteriores ("Seguimiento de los parámetros físico – químicos para la operación de las lagunas sanitarias de la ciudad de Gualaguaychú"; Lic. Br. Villareal Marisa Valeria), se pudo constatar la producción de unos 200 kg/día.

Debido a la falta de datos precisos al respecto, se tomara un promedio entre ambos.

Se hará a su vez una analogía entre la cantidad de residuo producido en ese primer año y la cantidad de habitantes que atendía la planta, de esta manera podemos hacer una proyección en la producción de los residuos.

La tabla con los cómputos finales, Tabla 8-5 Tabla 2-1, presenta la producción de residuos.

Aquellos valores de la tabla que se encuentran sombreados en amarillo corresponden a residuos que ya pasaron por la planta, por lo que para los cálculos del relleno se tomara la producción a partir de 2010.

Es dable a destacar que para el final de periodo de la planta se estarían produciendo en los mismos valores cercanos a las 125 tn.



Año		Habitantes atendidos por la planta	CANTIDAD DE RESIDUOS A TRATAR [kg]			
En producción	Calendario		Diaria	Semanal	Mensual	Anual
1	2005	57750	175	1225	5250	63875
2	2006	60175	182	1276	5470	66557
3	2007	62601	190	1328	5691	69240
4	2008	65026	197	1379	5911	71923
5	2009	67451	204	1431	6132	74605
6	2010	69877	212	1482	6352	77288
7	2011	72302	219	1534	6573	79970
8	2012	74727	226	1585	6793	82653
9	2013	77152	234	1637	7014	85335
10	2014	79578	241	1688	7234	88018
11	2015	82003	248	1739	7455	90700
12	2016	85303	258	1809	7755	94350
13	2017	88603	268	1879	8055	98000
14	2018	91903	278	1949	8355	101650
15	2019	95203	288	2019	8655	105300
16	2020	98503	298	2089	8955	108950
17	2021	101803	308	2159	9255	112600
18	2022	105103	318	2229	9555	116250
19	2023	108403	328	2299	9855	119900
20	2024	111703	338	2369	10155	123550

Tabla 8-5. Producción de Residuos.

8.1.3.2.5. Densidad de los residuos

El valor de la densidad de los residuos es de importancia para establecer los volúmenes del relleno a tratar. Está claro que la densidad dependerá del grado de compactación que se le dé al residuos.

Como no se cuenta con datos al respecto se tomaran valores generales que recomienda el CEPIS, el cual se transcribe en la Tabla 8-6.

Diseño	Densidad kg/m ³
Celda diaria (basura recién compactada manualmente)	400 - 500
Volumen del relleno (basura estabilizada en el relleno manual)	500 - 600

Tabla 8-6. Densidad de Residuos.

Para nuestro caso adoptaremos el caso más desfavorable para ambos valores, es decir:



Celda diaria (basura recién compactada manualmente)

$$[Vrsrc] = 400 \text{ kg/m}^3$$

Volumen del relleno (basura estabilizada en el relleno manual)

$$[Vrse] = 500 \text{ kg/m}^3$$

8.1.3.2.6. Volúmenes de residuos a disponer

Con la información de los numerales anteriores se está en condiciones de poder determinar los volúmenes de residuos a disponer en nuestro relleno.

Siguiendo la metodología expuesta hasta el momento, se hará una evaluación de los volúmenes diarios, semanales, mensuales y anuales. Esto permitirá proyectar los tiempos de apertura de las zanjas y el tiempo de llenado de la misma.

En la Tabla 8-7 aparecen también los volúmenes del material de cobertura, el cual se adopta en un 20% de $Vrsrc$, siendo este coeficiente usualmente usado y recomendado por la bibliografía pertinente.

FACULTAD REGIONAL CONCEPCION DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

MONUMENTO HISTÓRICO NACIONAL

TEL./FAX: (03442) 425544 / 423803
Ing. PEREYRA 670 - E5224BTD - CONCEPCION DEL URUGUAY
ENTRE RIOS - REP. ARGENTINA



Año	VOLUMENES [m3]												
	En producción	Calendario	Diaria [m3]			Semanal [m3]			Mensual [m3]			Anual [m3]	
Vrsrc			Vrse	mat. cobertura	Vrsrc	Vrse	mat. cobertura	Vrsrc	Vrse	mat. cobertura	Vrsrc	Vrse	mat. cobertura
6	2010	0.53	0.42	0.11	3.71	2.96	0.74	15.88	12.70	3.18	193.22	154.58	38.64
7	2011	0.55	0.44	0.11	3.83	3.07	0.77	16.43	13.15	3.29	199.93	159.94	39.99
8	2012	0.57	0.45	0.11	3.96	3.17	0.79	16.98	13.59	3.40	206.63	165.31	41.33
9	2013	0.58	0.47	0.12	4.09	3.27	0.82	17.53	14.03	3.51	213.34	170.67	42.67
10	2014	0.60	0.48	0.12	4.22	3.38	0.84	18.09	14.47	3.62	220.04	176.04	44.01
11	2015	0.62	0.50	0.12	4.35	3.48	0.87	18.64	14.91	3.73	226.75	181.40	45.35
12	2016	0.65	0.52	0.13	4.52	3.62	0.90	19.39	15.51	3.88	235.88	188.70	47.18
13	2017	0.67	0.54	0.13	4.70	3.76	0.94	20.14	16.11	4.03	245.00	196.00	49.00
14	2018	0.70	0.56	0.14	4.87	3.90	0.97	20.89	16.71	4.18	254.13	203.30	50.83
15	2019	0.72	0.58	0.14	5.05	4.04	1.01	21.64	17.31	4.33	263.25	210.60	52.65
16	2020	0.75	0.60	0.15	5.22	4.18	1.04	22.39	17.91	4.48	272.38	217.90	54.48
17	2021	0.77	0.62	0.15	5.40	4.32	1.08	23.14	18.51	4.63	281.50	225.20	56.30
18	2022	0.80	0.64	0.16	5.57	4.46	1.11	23.89	19.11	4.78	290.63	232.50	58.13
19	2023	0.82	0.66	0.16	5.75	4.60	1.15	24.64	19.71	4.93	299.75	239.80	59.95
20	2024	0.85	0.68	0.17	5.92	4.74	1.18	25.39	20.31	5.08	308.88	247.10	61.78

Tabla 8-7. Volúmenes de Material de Cobertura.



8.1.3.2.7. Determinación de las dimensiones de la trinchera

A partir de los datos volumétricos para cada año y para distintos tiempos mostrada en la tabla anterior, estamos en condiciones de poder determinar las dimensiones de la trinchera de nuestro relleno sanitario.

La bibliografía aconseja tomar valores de 2 a 4 metros para la profundidad de la zanja. En este caso se adopta $h = 2$ m. Está claro que este valor estará de acuerdo con los valores de los niveles freáticos en la zona, el tipo de suelo y del equipo para realizar las excavaciones. Sin embargo, no se cuenta con información de ninguno de los factores nombrados, por lo que se adopta tomar una profundidad mínima a modo preventivo.

En cuanto al ancho de la zanja, los valores recomendados están entre los 3 y los 6 metros. En este caso adoptamos el menor de los valores, o sea que el ancho será $B = 3$ m.

Una vez adoptados los valores de ancho y profundidad se determina la longitud necesaria de la trinchera, Tabla 8-8.

Año		LONGITUDES DE LA TRINCHERA [m]			
En producción	Calendario	Long diaria	Long semanal	Long mensual	Long anual
6	2010	0.07	0.49	2.12	25.76
7	2011	0.07	0.51	2.19	26.66
8	2012	0.08	0.53	2.26	27.55
9	2013	0.08	0.55	2.34	28.45
10	2014	0.08	0.56	2.41	29.34
11	2015	0.08	0.58	2.48	30.23
12	2016	0.09	0.60	2.58	31.45
13	2017	0.09	0.63	2.68	32.67
14	2018	0.09	0.65	2.78	33.88
15	2019	0.10	0.67	2.88	35.10
16	2020	0.10	0.70	2.98	36.32
17	2021	0.10	0.72	3.08	37.53
18	2022	0.11	0.74	3.18	38.75
19	2023	0.11	0.77	3.28	39.97
20	2024	0.11	0.79	3.38	41.18
TOTALES		1.36	9.49	40.67	494.84

Tabla 8-8. Longitudes de trinchera.



De esta manera se está en condiciones de poder plantear y proyectar la apertura de cada una de las trincheras, la vida útil de las mismas, la forma de construcción, etc.

En la Figura 8-15 se puede apreciar la disposición que, a priori, parece la más correcta.

Con esta disposición se cuenta con una frecuencia de apertura de zanja semestral. Es decir que cada 6 meses se deberá de disponer la maquinaria necesaria para la realización de la trinchera, que será de 15m de longitud.

El orden de apertura de las zanjas se observa con la numeración planteada.

En dicha figura se puede observar la red de drenaje de los lixiviados, tema que se tratara en numerales posteriores.

Hasta el año 2016 aproximadamente, la disposición de trincheras planteada se puede adoptar de manera correcta. Esto se debe que hasta dicho año, con los volúmenes de residuos a tratar salidos de los cálculos, las longitudes de las zanjas necesarias rondan los 30m. Para años superiores esta longitud es superada y podría pensarse en otra disposición. Sin embargo, debido a que los cálculos efectuados en cuanto a la cantidad de residuos es aproximado, es aconsejable adoptar la disposición que se muestra y variar la misma a medida que se adquiere experiencia en el tema. Estudios mas avanzados podrán determinar con mayor precisión los volúmenes a tratar y dar la disposición y metodología constructiva definitiva de las trincheras, debiendo encontrarse las mismas en el rango de las aquí planteadas.

Entre las trincheras se puede observar un espacio que se utilizara con doble finalidad, será circulación en el caso de que el relleno se haya tapado en su totalidad, y servirá además para localizar el suelo surgido del desmonte de la trinchera (que será utilizado como material de cobertura del relleno).

De los cálculos efectuados se puede determinar que el área necesaria del relleno es de 1800 m² aproximadamente.

8.1.3.2.8. Generación de lixiviado

El volumen de lixiviado o líquido percolado en un relleno sanitario depende de los siguientes factores:

- Precipitación pluvial en el área del relleno.
- Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
- Evapotranspiración.
- Humedad natural de los RSM.
- Grado de compactación.
- Capacidad de campo (capacidad del suelo y de los RSM para retener humedad).



Dado que resulta difícil obtener información local sobre los datos climatológicos, se suelen utilizar coeficientes que correlacionan los factores antes mencionados con el fin de precisar el volumen de lixiviado producido.

El método suizo, por ejemplo, permite estimar de manera rápida y sencilla el caudal de lixiviado o líquido percolado mediante la ecuación:

$$Q = \frac{1}{t} P \times A \times K$$

Q = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (L/seg)

P = Precipitación media anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno (m²)

t = Número de segundos en un año (31.536.000 seg/año)

K = Coeficiente que depende del grado de compactación de la basura

Para rellenos débilmente compactados con peso específico de 0,4 a 0,7 t/m³, se estima una producción de lixiviado entre 25 y 50% (k = 0,25 a 0,50) de precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

Para rellenos fuertemente compactados con peso específico > 0,7 t/m³, se estima una generación de lixiviado entre 15 y 25% (k = 0,15 a 0,25) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno. [CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005].

Para nuestro caso tomaremos preventivamente un valor de K = 0,3.

Para el resto de los valores se adopta:

P = Precipitación media anual (mm/año) = 1200

A = Área superficial del relleno (m²) = 45

El valor de área adoptado corresponde al de una de las trincheras propuestas, es decir que el cálculo corresponderá al drenaje de los lixiviados en una sola de las mismas, trasladándose este valor a las demás.

Aplicando la ecuación planteada se tiene:

Q = 0.0005 lts/s

El volumen de lixiviado se estima con la siguiente ecuación:



$$V = Q \times t$$

V = Volumen de lixiviado que será almacenado (m³)

Q = Caudal medio de lixiviado o líquido percolado (m³/mes)

t = número máximo de meses con lluvias consecutivas (mes)

Como en nuestro caso los lixiviados no serán almacenados en su totalidad dentro del relleno, optamos por tomar t = 1. De esta manera podemos decir que el volumen es:

$$V = 1.3 \text{ m}^3$$

El área necesaria de los drenajes estará dada por:

$$A = V/l$$

l = Longitud de las zanjas de almacenamiento (m) = 15m

V = Volumen de lixiviado que será almacenado durante los periodos de lluvia (m³) = 1.3

a = Área superficial de la zanja (m²)

Aplicando la expresión obtenemos:

$$A = 0.1 \text{ m}^2$$

Atendiendo al área requerida se podría adoptar un drenaje de:

B: ancho = 0.3m

H: profundidad = 0.35m

Esta claro que este diseño responde a datos muy elementales, por lo que los valores finales solo pueden dar una noción del orden de valores que se puede manejar. A su vez, las dimensiones de los drenajes esta ligado al manejo que se le vaya a dar a los lixiviados, o sea, si se los van a tratar o si se dimensionara un drenaje que almacene los lixiviados hasta su evaporación. En este caso se ha optado por lo mencionado en primera medida, atendiendo al hecho de contar con los sistemas de tratamiento en la misma planta.

Por la incertidumbre ya manifestada, solo se plantea el drenaje interno de las trincheras y no el de los colectores de drenaje. Sin embargo, si se quisiera inferir sobre los mismos, se pueden adoptar los valores determinados para los drenes internos y aplicar una proporcionalidad conveniente a los colectores de drenajes principales.



8.1.3.2.9. Conclusiones y comentarios finales

Como ya se ha comentado con anterioridad, la solución al problema de los residuos sólidos a través de un relleno sanitario como el aquí diseñado parece ser la de mayor aplicabilidad desde el punto de vista técnico, económico y de los recursos con los que cuenta la planta. Mas aun teniendo en cuenta los bajos volúmenes a tratar. Sin embargo, no se debe desconocer la aparición, en los últimos tiempos, de tecnología y tratamientos avanzados para los residuos sólidos, pero todos ellos con la condicionante de ser económicamente inviables y de necesitar, para su funcionamiento, de recursos humanos y técnicos especializados.

Del análisis de la matriz FODA se ha hecho la salvedad de la necesaria colocación de una cortina de árboles y el parqueizado dentro de la planta. El relleno sanitario, una vez completadas las distintas trincheras, puede ser utilizado para dar lugar a la plantación de los mismos. Esta metodología es ampliamente utilizada y recomendada por las organizaciones ambientales especializadas en el tema. De esa manera se le daría un uso totalmente sustentable al lugar, cambiando de manera adecuada el paisaje de la zona y utilizando los árboles como una cortina natural a los olores.

No se ha dispuesto una localización, dentro del predio, para el relleno. Esto se debió fundamentalmente a la falta de información topográfica de la zona y a su vez, a la falta de un estudio de los vientos predominantes (rosa de vientos), de manera de que los olores que se puedan producir no perjudiquen a terceros.

Se deberá efectuar en el perímetro del relleno un canal, el cual será el encargado de la recolección de la precipitación pluvial. Esto determina menores redes de drenaje internas en las trincheras y, por consiguiente, menores lixiviados a tratar.

Todos los cálculos efectuados se hicieron teniendo en cuenta que el relleno se realizara en forma manual. En caso de contar con equipamiento, aunque sea de medidas pequeñas, los valores de densidad de los residuos disminuirían y con ellos también el área a ocupar por parte del relleno sanitario.

8.2. Caso de estudio, Colon

A través del análisis FODA se determinara factores positivos y negativos que presenta el sistema de tratamientos de esta localidad.

8.2.1. Descripción de factores y Matriz Plana FODA Colón

Se presenta a continuación una memoria descriptiva breve sobre los distintos factores de la matriz FODA que se aprecia en la Tabla 8-9. Esta descripción tiene como objetivo que el lector pueda interpretar de manera correcta los factores que se exhiben en la matriz, ya que en ella se presentan los mismos de manera sintética, para poder favorecer una adecuada presentación.



Hay que aclarar que las Fortalezas y Amenazas que a continuación se presentan fueron extractadas de la memoria descriptiva que se realizó sobre el sistema de tratamiento de Colón como así también surgidos de las visitas a la planta.

8.2.1.1. Debilidades

D1. Importantes daños estructurales

En este ítem se diferencian dos estructuras de importancia, las cuales presentan daños de consideración.

La primera a nombrar es la estructura de salida, la que se encuentra totalmente destruida, contando solamente con un caño de descarga, el cual vuelca el efluente directamente sobre el terreno natural circundante. Si bien este terreno tiene una pendiente tal que permite el desplazamiento del líquido hacia el arroyo La Leche (cuerpo receptor), es la energía misma del líquido volcado la que ha efectuado su propio camino, bañando zonas aledañas a la zona de vuelco, sin que se tenga control alguno sobre la misma. A su vez, estas erosiones descritas han formado pequeños charcos donde el agua se estanca, transformándose en una fuente de contaminación considerable (proliferación de mosquitos y otros insectos transmisores de enfermedades).

Los taludes que conforman el perímetro de la pileta se encuentran erosionados en varias zonas. Si bien no se cuenta con información técnica específica en cuanto a las debilidades del talud, este ha llegado a colapsar en ciertas zonas, produciéndose el volcado masivo del agua residual.

D2. Elevada producción de olores en la planta e inmediaciones

El sistema de tratamiento se caracteriza por producir olores desagradables gran parte del tiempo, incrementándose estos en días de verano o con viento. Esto se transforma en un problema importante ya que el sistema se encuentra rodeado por complejos habitacionales.

D3. Falta de medidas de seguridad

No existen medidas de seguridad que tiendan a prevenir accidentes en la planta, o por el solo hecho de cuidar las instalaciones de las mismas. Las lagunas se encuentran totalmente abiertas y libres al paso de cualquier persona. Este problema toma relevancia ya que se encuentra conviviendo con la gente que habita en sus alrededores.

D4. Falta de compromiso de la autoridad competente

Existe una clara falta de compromiso de la autoridad a cargo de la planta de tratamientos. Esto se denota en distintos aspectos.



La falta de mantenimiento de las lagunas es total. Durante las visitas efectuadas la planta se encontró con una cobertura total de malezas, tanto dentro de las lagunas como en la periferia y los caminos internos de mantenimiento. Al punto tal de encontrarse con especies arbóreas en las caras interiores de los taludes de confinamiento de las lagunas. Esta proliferación vegetal influye de manera totalmente nociva en el funcionamiento de la planta y genera además un importante impacto visual negativo en la zona, disminuyendo la calidad de vida de los vecinos.

La falta de compromiso puede observarse también en la construcción de un barrio de viviendas a escasos metros de las lagunas, comprometiendo así la salud pública y la calidad de vida de sus moradores.

D5. Cobertura de algas

La planta se encuentra con una gran cantidad de algas. Estas se encuentran tanto en el estanque aerobio como anaerobio. La presencia de estas algas establece procesos químicos en las aguas residuales que se traducen en resultados negativos en el efluente final.

8.2.1.2. Fortalezas

F1. Bajo costo de operación y mantenimiento del sistema

Esta clase de sistemas de tratamiento posee la característica de tener un costo operativo bajo.

Esto se debe a que funciona sin personal estable, debiéndose contabilizarse solamente el personal para el mantenimiento de las instalaciones.

Además, no cuenta con equipamiento electromecánico de importancia, solamente una bomba elevadora en el ingreso del agua residual a la planta, con lo que los gastos energéticos son pequeños.

8.2.1.3. Amenazas

A1. Sistemas de tratamientos inmersos en zonas urbanas

El sistema de tratamiento está inmerso en una zona totalmente habitada, a tal punto que los barrios han quedado al otro lado de la calle perimetral. Esto ocasiona olores molestos en la población y la peligrosidad propia del contacto habitual. Es normal encontrar animales y personas en general en el predio, y en los días de temperaturas medias la producción de mosquitos en la zona de influencia de las lagunas es muy importante.

A2. Contaminación de diferentes sitios aguas abajo

La ubicación actual de la planta y su baja eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales ha llevado a la contaminación paulatina de distintos sectores que ahora son



de uso recreacional o público. Uno de los más importantes es el que se da en las playas que se encuentran aguas abajo, sobre el río Uruguay. Estudios realizados con anterioridad alertan la presencia de altas cargas de coliformes en la zona.

Se da también una severa contaminación en el monte nativo ubicado entre el arroyo La Leche y la planta de tratamiento. Esta contaminación se debe principalmente al volcado frecuente sobre la zona del efluente tratado.

A3. Incremento de la población en temporada

Se da un fuerte incremento de la población en temporada alta, esto es Enero y Febrero. Esto, consecuentemente, aumenta los caudales a tratar, haciendo incrementar de manera directamente proporcional todos los problemas presentados en los numerales anteriores.

8.2.1.4. Oportunidades

O1. Existencia de líneas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar

La CAFESG realiza inversiones de manera continua para distintas obras en la zona. No se debe dejar de nombrar también al ENOHSA, que financia esta clase de obras de saneamiento.

O2. Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales

Los sistemas de tratamientos de aguas residuales no escapan al avance de la tecnología en general. Por este motivo, es una oportunidad de relevancia en el estudio que nos ocupa.

MATRIZ PLANA FODA			
Fortalezas		Debilidades	
F1	Bajo costo de operación y mantenimiento del sistema	D1	Importantes daños estructurales
		D2	Elevada producción de olores en la planta e inmediaciones
		D3	Falta de medidas de seguridad
		D4	Falta de compromiso de la autoridad competente
		D5	Cobertura de algas
Oportunidades		Amenazas	
O1	Existencia de líneas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar	A1	Sistemas de tratamientos inmersos en zonas urbanas
O2	Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales	A2	Contaminación de actuales sitios públicos y de recreación.
		A4	Incremento de la población en temporada

Tabla 8-9. Matriz plana FODA Colón.



8.2.2. Análisis y Matriz de estrategias Colón

Las características que presenta la planta de tratamiento de Colón hacen imposible poder tomar medidas correctivas que hagan que la misma tenga un funcionamiento adecuado en el futuro.

Al hablar de un funcionamiento adecuado se refiere a una visión integral de la planta, es decir, el funcionamiento intrínseco de las lagunas con todos sus procesos, pero también al entorno que rodea a estas y como las mismas afectan a ese entorno.

Sin duda con los avances tecnológicos y los tratamientos tradicionales se podría dar solución a aquellos problemas técnicos específicos de la planta, ya mencionados en el listado de factores FODA. Sin embargo, seguiría existiendo un problema con el entorno a la planta, extremadamente difícil y costoso de solucionar. Estos problemas son tantos o más importantes que los concretos propios del sistema de lagunaje.

Es por este motivo que se ve como única solución la implantación de un sistema de tratamientos en un nuevo sitio. De todos modos, se hará un análisis del sistema actual y se propondrán posibles soluciones a los problemas encontrados. El lector notará así la dificultad de poder llevar adelante una solución integral de la planta.

A modo de solución integral se desarrollara la implantación de un nuevo sistema en otro sitio, de manera que el mismo cumpla con los lineamientos tradicionales y los cuidados prioritarios de esta clase de tratamientos.

8.2.2.1. Debilidades vs. Amenazas

Se desarrolla a continuación las estrategias que pretenden minimizar Debilidades y Amenazas, según se ve en la Tabla 8-10.

D2 – A1

Esta clase de sistema de tratamiento se caracteriza por una elevada producción de olores, por lo que es sumamente importante el lugar de implantación de las lagunas y los trabajos que se realicen para la atenuación de los olores.

El sistema de tratamientos de Colón se encuentra rodeado por distintos asentamientos urbanos. La cercanía de la población es extrema, encontrándose los barrios a escasos metros de las lagunas.

Como ya se ha explicado con anterioridad, la presencia de plantas de este tipo y la emanación de olores puede provocar en la población afectada los siguientes problemas:

- Problemas de salud.
- Impacto visual negativo.
- Baja significativa del confort de vida.
- Descenso de los costos de los terrenos.



			Debilidades				
			Importantes daños estructurales	Elevada producción de olores en la planta e inmediaciones	Falta de medidas de seguridad	Falta de compromiso de la autoridad competente	Cobertura de algas
			D1	D2	D3	D4	D5
Amenazas	Sistemas de tratamientos inmersos en zonas urbanas	A1		*	*	*	
	Contaminación de actuales sitios públicos y de recreación	A2	*				
	Incremento de la población en temporada	A3					

Tabla 8-10. Matriz estrategia Debilidad-Amenaza.

Algunos de los efectos en la salud que podrían llegar a presentarse son: inflamación de las vías respiratorias altas, síndrome tóxico por polvo orgánico (STPO), problemas digestivos, reacciones alérgicas, enfermedades cutáneas e irritación de los ojos y las mucosas.

El confort de vida va en disminución debido a que los vecinos deben vivir con un olor nauseabundo en el ambiente todo el tiempo, incrementándose los mismos en días de verano o viento.

Existe también un impacto negativo desde lo económico, ya que sus terrenos tienen un valor menor que en el caso de que la planta no estuviera.

Una solución sería una cortina de árboles, tratando así de generar una barrera natural para los olores y una atenuación en el impacto visual. Esta cortina debería tener tamaños considerables, debiendo conformarse en varias líneas, ya que los olores a amenguar son importantes y la cercanía de la población lindera obliga a crear una barrera visual frondosa.

Sin embargo la disposición de la laguna en el terreno hace imposible esto, ya que la misma se encuentra pegada a un camino, no quedando espacio físico para la colocación de la barrera. Además, la cortina de árboles se debería colocar al pie del talud de la laguna, corriendo el riesgo de que las raíces puedan dañar a los taludes.



Se podría considerar la relocalización de un tramo de camino, pero esto implicaría la expropiación de terrenos linderos, lo que lo hace impracticable económicamente.

Por otra parte, la producción de olores y la cercanía de los habitantes es de tal magnitud que sería imposible que una cortina de árboles puedan funcionar satisfactoriamente como una barrera contra los olores.

D3 – A1

En ambos sistemas se puede apreciar una falta total de medidas de seguridad. Al referirse a medidas de seguridad se hace mención a un vallado perimetral, cartelería, etc.

La falta de estas medidas puede llevar a que se generen accidentes en las plantas, ya que las profundidades de las lagunas son importantes. Se debe tener en cuenta también la problemática de salubridad que se presenta al tener contacto con los líquidos residuales.

Por los motivos citados, se plantea la realización de un vallado perimetral y la colocación de la cartelería informativa y de precaución en los sistemas de tratamientos, cuidando de esa manera la integridad de las personas que circulan por la zona como así también de las instalaciones en general.

Se debe hacer aquí la salvedad de que el vallado propuesto debe mantener una distancia prudencial con el perímetro de las lagunas, permitiendo así el lugar necesario para la maquinaria y los trabajos de mantenimiento que se deban realizar. Esta distancia prudencial está en condiciones de respetarse con ciertos límites. Como ya se mencionó en apartados anteriores, este sistema se encuentra rodeado de población, separado únicamente por la calle perimetral de las lagunas. De esta manera en caso de instalarse el vallado debería quedar sobre el límite de la calzada.

Además, al convivir laguna y población en un mismo ambiente, se debería pensar en un cerco con mayores dimensiones, que sea una verdadera limitante física al paso de la gente en general, con el consiguiente incremento económico que esto significa.

D4 – A1

Existe una clara falta de compromiso de la autoridad competente para poder darle una solución al sistema de lagunaje. Esto se pone de manifiesto en la falta casi total de mantenimiento de las instalaciones y el deterioro del cual ya se ha mencionado al desarrollar los factores FODA.

Un factor que determinó esta conclusión fue la construcción de un complejo habitacional a escasos 30m de la ubicación de las lagunas.

Con esto se quiere dejar claro que no existe un compromiso en busca de darle solución a los problemas encontrados en las lagunas y su área de influencia.



Esta conclusión es arbitraria del grupo que suscribe el trabajo y tomada a partir de las sucesivas visitas a la zona.

En este caso la única solución a tener en cuenta sería relocalizar a la gente de los alrededores, y aplicar medidas que prevengan la relocalización de personas en dichos terrenos.

La solución aquí planteada se escapa de cualquier presupuesto. Debiendo no solo buscar una solución a todas aquellas personas que han usurpado los terrenos linderos, sino también al grupo de pobladores que integra el barrio construido por el IAPV, cuya localización es totalmente legal.

Además se deberían hacer los estudios necesarios para determinar si los suelos linderos serían capaces de aceptar la ampliación de la planta actual, ya que si se realiza la elevada inversión necesaria para mantener la planta en su lugar actual, esta debería diseñarse para una vida útil de 15 a 20 años.

Otro impedimento sería el acelerado crecimiento poblacional. Los sistemas de lagunaje se encuentran muy cerca del centro de la ciudad y en la misma se empiezan a presentar problemas para poder obtener lotes. De este modo, la presencia de las lagunas en el sitio actual, y su consiguiente ampliación futura más el área de influencia, ocupa una zona que bien puede dar solución a la problemática de la falta de terrenos.

D1 – A2

Como ya se ha mencionado en el desarrollo de los factores FODA (A2), se produce la contaminación de dos sitios en particular. El monte nativo, al noroeste de las lagunas, y las playas ubicadas sobre el río Uruguay, aguas abajo del sector de vuelco de los efluentes tratados.

En caso de que se asuma de que la planta continúe en el sitio actual solo se podría efectivizar una solución a la contaminación del monte nativo. Por su parte se seguiría con la descarga sobre las playas aguas abajo, que, aunque la planta se mejorase para que el líquido tratado sea de mayor calidad, no daría tiempo al río para depurar las cargas contaminantes. A su vez, la planta actual no cuenta con un sistema de desinfección, contándose entonces con menores cargas de DBO, pero iguales o algo menores cargas de coliformes.

Para dar solución al problema de la contaminación del monte nativo se debería diseñar un sistema de descarga adecuado, recordando que el actual se encuentra destruido.

Además se debería prever una descarga mas larga que la del sistema actual, que permita llevar los efluentes de manera canalizada hasta el cuerpo receptor. De esta forma se evitaría la contaminación de zonas de monte por el bañado de las aguas residuales.

El sistema a plantear debería tener una descarga continua, que evite en todo momento el estancamiento del efluente en el camino desde la salida de la pileta hasta el arroyo.



En la actualidad, la falta de este criterio en la descarga hace que se formen pequeños estanques naturales, muy propicio para la proliferación de mosquitos y otro insectos transmisores de múltiples enfermedades.

8.2.2.2. Debilidades vs. Oportunidades

Se desarrolla a continuación las estrategias que pretenden minimizar Debilidades y maximizar Oportunidades, cuyo resultado se ve en la Tabla 8-11.

D4 – O1

Como ya se ha comentado en los numerales anteriores, existe una clara falta de compromiso de la autoridad competente para poder darle una solución al sistema de lagunaje.

La falta de compromiso se advierte a partir de la existencia de capacidad técnica para la concreción de los trabajos, como así también la existencia de líneas de financiamiento. Esto sustentado desde el hecho de que la ciudad ha avanzado de manera importante en los últimos tiempos, verificándose la construcción de obras de consideración.

		Debilidades				
		Importantes daños estructurales	Elevada producción de olores en la planta e inmediaciones	Falta de medidas de seguridad	Falta de compromiso de la autoridad competente	Cobertura de algas
		D1	D2	D3	D4	D5
Oportunidades	Existencia de líneas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar	O1			*	
	Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales	O2		*		

Tabla 8-11. Matriz estrategia Debilidades-Oportunidades.

Se puede decir entonces que se cuenta con las líneas de financiamiento para la realización de obras dentro de la ciudad, faltando la decisión política que permita una partida de presupuestaria tal que de solución a los problemas mencionados.



De esta manera, con la corrección de la "amenaza" planteada en la matriz FODA se podría explotar una "oportunidad" fundamental para el mejoramiento. De todos modos, la parsimonia de los últimos tiempos genera que para dar una solución definitiva a la totalidad de la problemática, se deben invertir sumas de importancia.

D2 – O2

Existen métodos novedosos que permiten una eficiente atenuación de los olores producidos por esta clase de sistemas. Un método natural es el de las cortinas de árboles, que por las circunstancias descritas en el apartado D2 – A1, hacen dudar seriamente en que sea una solución acorde a la problemática.

Existen también otros métodos más innovadores. El de mayor difusión en los últimos tiempos corresponde a membranas constituidas de materiales especiales, que tratan y filtran los olores emanados del agua residual. De todos modos este método está en estudio y su aplicación concreta en el país es escueta. Este desconocimiento específico de la tecnología, y la seriedad del problema, brinda una gran incertidumbre a que este puede ser un método aplicable y con buenos resultados.

A su vez, al estar las lagunas en contacto continuo con los pobladores vecinos, es proclive de daños y hurtos, siendo muy costosa la reparación.

Se debe hacer mención también que se deben impermeabilizar la totalidad de las lagunas, encareciendo significativamente los costos a esta solución.

8.2.2.3. Fortalezas vs. Oportunidades

Se intenta, a través de la siguiente estrategia, maximizar Fortalezas y Amenazas, según se aprecia en la Tabla 8-12.

F1 – O2

Ante la inminente falta de compromiso de las autoridades, al momento de buscar una solución integral a los problemas ya mencionados se deberá recurrir a un sistema similar al usado en la actualidad, con bajos costos de operación y mantenimiento.

Las novedosas tecnologías aparecidas para el tratamiento de las aguas residuales nos brindan una oportunidad interesante a explotar. Por este motivo, se desarrollara una solución que tienda a explotar la Fortaleza y Oportunidad surgida de la matriz FODA.

Esta solución, consistente en un nuevo tratamiento, se desarrolla en el apartado 8.2.3.



		Fortaleza	
		Bajo costo de operación y mantenimiento del sistema	
		F1	
Oportunidades	Existencia de líneas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar	01	
	Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales	02	*

Tabla 8-12. Matriz estrategia Fortaleza-Oportunidades.

8.2.3. Desarrollo de alternativas

El sistema de tratamiento de la ciudad de Colón es deficitario de todo punto de vista, como ya se analizó en el estudio FODA. Por estos motivos, deja claro la necesidad de implementar una solución que tome por la raíz el problema medioambiental que se presenta en dicha localidad en lo que respecta a la recolección, tratamiento y volcado del agua residual doméstica.

8.2.3.1. Propuesta.

Se propone en primer lugar la erradicación de las lagunas de tratamiento del lugar de emplazamiento, lo cual conlleva a pensar en un sistema nuevo, permitiendo esta situación que se propongan nuevas tecnologías.

La propuesta se basa en sistema llamado "Tohá", el mismo ha sido evaluado debido a la economía de construcción y operación que presenta frente a otros sistemas principalmente. También es importante el hecho de que la características del la localidad en cuanto al efluente a tratar son compatibles con dicho sistema.

Se especifican las dimensiones y componentes del sistema necesarios para poner en funcionamiento esta planta de tratamiento y con ello evitar la descarga de contaminantes, además de cumplir con la legislación vigente que atañe a esta problemática.



En ésta propuesta no se considera la ubicación del predio, pero en un estudio preliminar se destaca que deberá encontrarse hacia el sur respecto de las lagunas existentes, de manera de poder utilizar la conducción hasta allí existente. Dicho predio deberá estar a una distancia prudencial de posibles y actuales centros urbanos, además de contar con los vallados y servicios necesarios para su buena operatividad y sobre todo bregando por la calidad de vida cada uno de los

8.2.3.2. Descripción del Sistema de Tratamiento.

Se propone la construcción, instalación y operación de un sistema de tratamiento para los aguas servidas generados por la población de Colón, el proyecto contempla la utilización de sistemas primarios de tratamiento, tales como separadores de sólidos, para posteriormente eliminar las cargas orgánicas con el sistema "Biofiltro Dinámico y Aeróbico" también conocido como "Sistema Tohá", para finalmente desinfectar el agua y disponerla para descarga , ya sea al cuerpo receptor o bien en canales de riego.

8.2.3.3. Especificaciones las Unidades de Tratamiento.

El sistema Tohá, representado esquemáticamente en la Figura 8-16, esta compuesto fundamentalmente por:

- Cámara de rejjas
- Planta elevadora
- Lombrifiltro
- Cámara de desinfección.

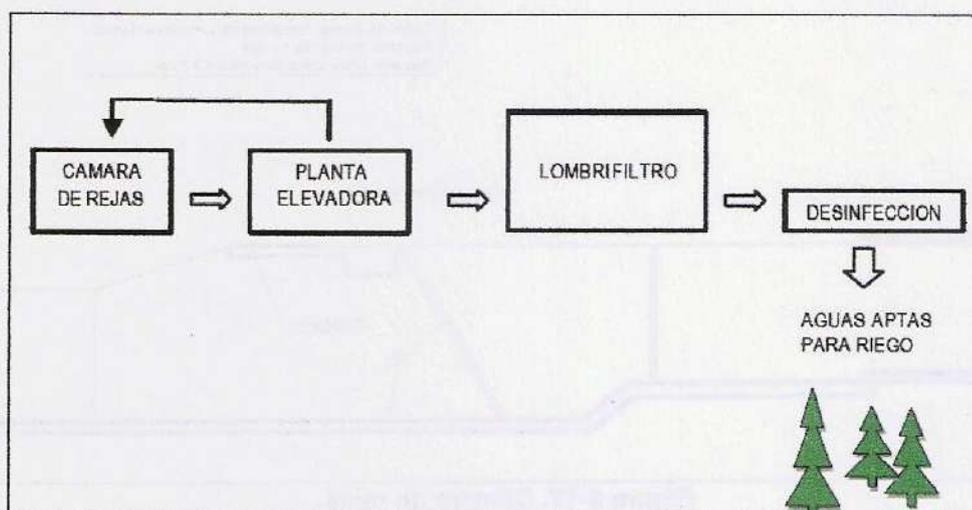


Figura 8-16. Esquema general

8.2.3.3.1. Cámara de Rejas

El afluente es conducido desde el sistema de alcantarillado hacia esta unidad de tratamiento que corresponde a una cámara de rejjas. La finalidad de esta unidad de tratamiento es separar los sólidos gruesos contenidos en el afluente, reteniendo los sólidos superiores a 2.5cm.

Dicha cámara de rejas como se ve en la Figura 8-17 se compondrá de tres canales, cada uno dispondrá de compuertas de manera que trabajen en simultaneo o no, según sean las necesidades.

Las barras de las rejas serán de 1 cm de espesor de acero inoxidable, y la separación entre barrotes será de 2.5 cm. La limpieza de las rejas será manual através de rastrillos, se colocará el sólido retenido en los canastos a tal fin dispuestos.

Los sólidos en este proceso serán recolectados, teniendo en cuenta todas las medidas de seguridad correspondiente a la peligrosidad de dichos desechos, y serán depuestos en trincheras, tomándose para ello un sistema similar al propuesto en el sistema de la ciudad de Gualeguaychú.

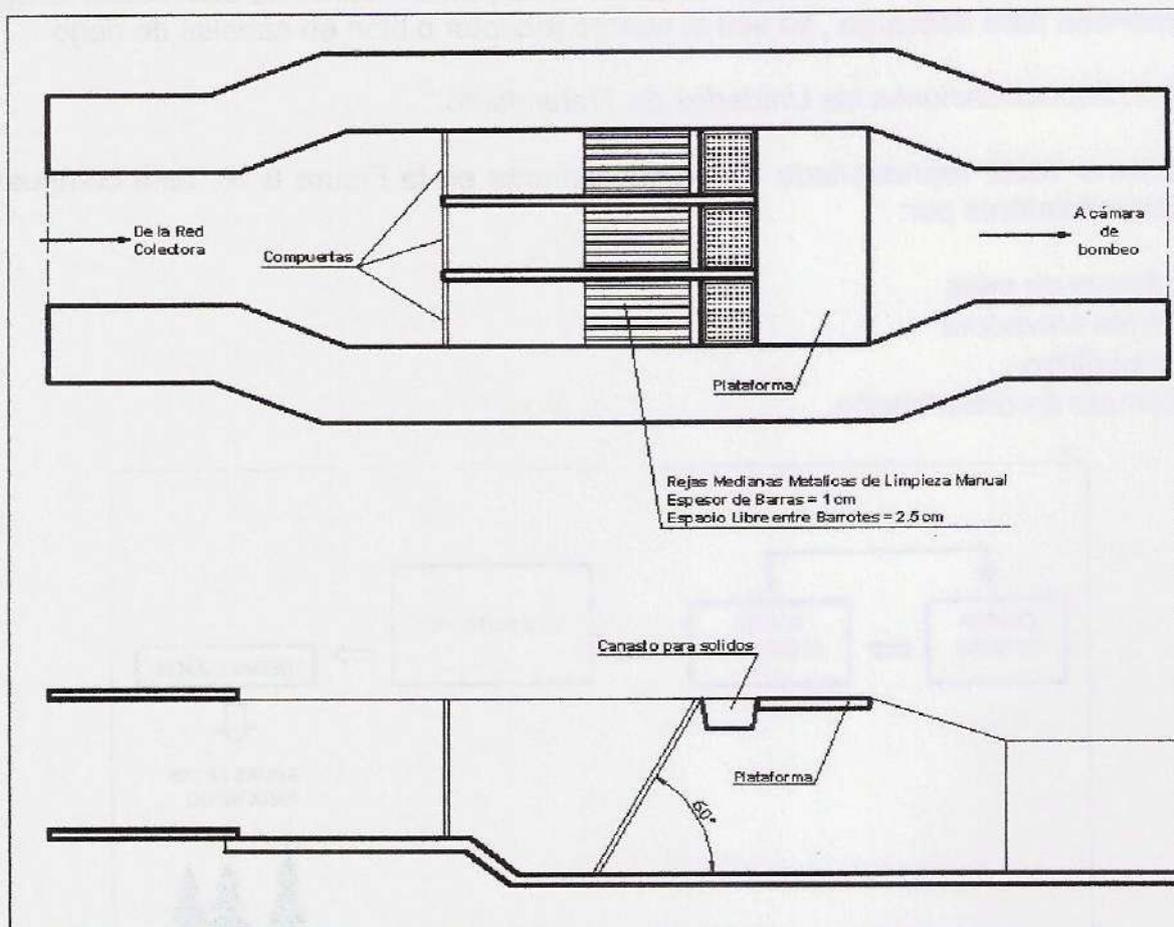


Figura 8-17. Cámara de rejas.

8.2.3.3.2. Planta Elevadora y homogenizadora

Los caudales que recibe el sistema de tratamiento no son constantes a lo largo del tiempo, por lo que se hace necesaria la instalación de un estanque para la regulación de caudal, que además cuenta con canastillo para retener los sólidos superiores a 5 mm que contiene el afluente y que pueda tapan el sistema de riego. Esta unidad de



tratamiento, además tiene como función recibir el agua servida para posteriormente enviarla, a través de un sistema de bombeo con sensores de nivel, al sistema Biofiltro Dinámico y Aeróbico.

8.2.3.3.3. Biofiltro Dinámico y Aeróbico

Componentes del Biofiltro o Sistema Tohá:

- Sistema de Riego.
- Trampa de Lombriz.
- Sistema Evacuación y Drenaje.
- Capas filtrantes y doble fondo.

El Biofiltro será alimentado con aguas servidas desde la planta elevadora especialmente diseñada para mantener la presión requerida para el sistema de riego. Estos líquidos se esparcirán en forma homogénea en la parte superior del Biofiltro a través de aspersores.

Desde que el agua es rociada sobre el filtro y sale del sistema transcurren aproximadamente 40 minutos. Este lapso es corto para que no se generen olores, de esta manera el agua servida no alcanza a perder oxígeno suficiente para su descomposición.

El lombrifiltro estará compuesto de un medio filtrante y un soporte según se ve en la Figura 8-18.

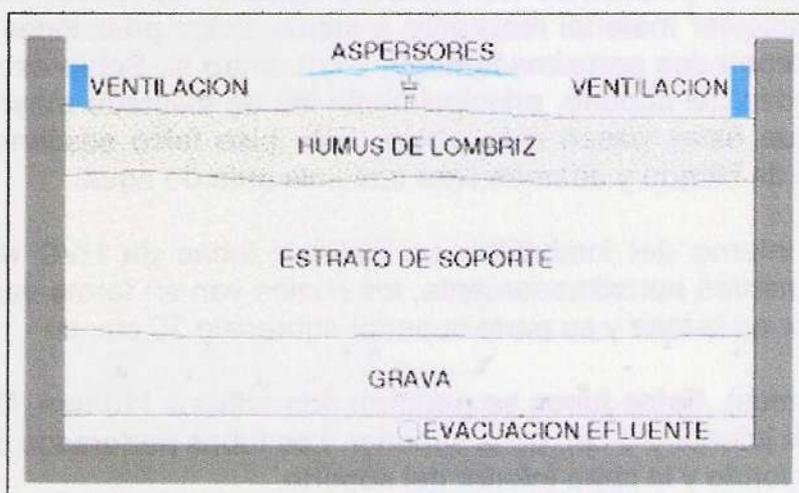


Figura 8-18. Capas del Lombrifiltro.

Se deberá garantizar una superficie de 3600 m² de acuerdo a los parámetros de diseños que se han destacado, para una población de diseño a 20 años de 29451 habitantes. Se dispondrán seis módulos de 600 m² cada uno.

La composición estratigráfica del relleno de cada módulo queda determinada por características de hábitat de las lombrices y balance del sistema orgánico, además de las condiciones de drenaje requeridas por el mismo.



Según lo anterior, el medio filtrante será una capa de humus de espesor teórico 2 cm. De profundidad, en el cual habitan en mancomunidad microorganismos y lombrices de la especie *Eizenia Foetida*. El soporte estará constituido por tres capas, la primera de ellas de aserrín o viruta (debajo del humus), la segunda, ripio o grava y la tercera de bolones.

La primera capa de soporte y que también sirve de filtro compuesta de aserrín o viruta, debe tener un espesor por lo menos de 25 cm. para lograr la franja operativa necesaria de la lombriz. Además, tiene como finalidad principal servir de alimento a las lombrices en el eventual caso que la carga contaminante del afluente no sea suficiente.

La segunda capa estará constituida por ripio o grava y la tercera capa será de bolones con un espesor aproximado de 25 cm., las piedras de mayor tamaño van en la parte inferior y las de menor en la parte superior, esta capa esta destinada al drenaje y aireación del sistema. En las piedras también se forma flora bacteriana que digiere la materia orgánica del agua que pasa por ella y que no fue retenida en las capas superiores del lombrifiltro.

Entre los estratos de aserrín y arena se dispone una malla geotextil, que sirve como elemento de separación y retención para el estrato de aserrín y las lombrices.

El piso del filtro, también denominado falso fondo, consiste en una losa de hormigón armado con cierta pendiente (aproximadamente de un 1%) para que fluya el agua hacia la canaleta de evacuación, la cual también posee cierta pendiente (0.50%).

Sobre la losa, existen pastelones de cemento vibrado, apoyados en soportes que pueden ser de cualquier material resistente e inerte. Estos pastelones pueden ser de distinto tamaño, separados aproximadamente 2 cm. entre sí. Sobre éstos se posan las piedras mas grandes del soporte, principalmente las de diámetro mayor a 2 cm., para así no permitir que éstas pasen más abajo. Este piso falso sostiene las capas del soporte y el lecho de filtrado y además crea una sola guía de agua.

En el perímetro interno del lombrifiltro se instalan tubos de PVC de 110 mm. de diámetro, cada 2 metros aproximadamente, los cuales van en forma vertical, apoyados en su parte inferior en la losa y su parte superior sobresale 20 cm. de

lecho filtrante (humus). Estos tubos se perforan con orificios (10 mm. De diámetro) los 20 cm. de su parte inferior y 8 cm. de la superior. Los tubos perforados permitirán airear el sector del falso fondo y la capa inferior del soporte.

Para asegurar que no existan lombrices en el residuo líquido tratado que proviene del Biofiltro Dinámico y Aeróbico, el sistema contempla la instalación y operación de una trampa de lombriz, la acción de ésta no permitirá el paso de lombrices que puedan venir en el líquido filtrado.

Los módulos estarán a resguardo, a través de una estructura liviana que servirá de sostén a una malla de polietileno de alta densidad que servirá de resguardo de la



exposición directa de los rayos solares, así como también a distintas alimañas, como se puede ver en la Figura 8-19.

8.2.3.3.4. Sistema de desinfección.

Para cumplir las condiciones de descarga en el cuerpo receptor indicadas en las normativas, se contempla eliminar los microorganismos dentro del efluente. El Biofiltro o Sistema Tohá elimina la materia orgánica pero no los microorganismos patógenos, por lo que se instalará una unidad de desinfección por medio radiación Ultravioleta.

Se construirá una cámara en la cual, pase una película de agua que este en contacto con esta radiación, eliminando todos los elementos patógenos contenido en ella.

Las dimensiones de esta cámara están dadas por la superficie de contacto. Por último el agua tratada será dispuesta para descarga en el cuerpo receptor o para destinar a riego.



Figura 8-19. Estructura de protección de los biofiltros.

8.2.3.4. Situaciones especiales

Como situaciones especiales se deben mencionar los siguientes fenómenos en que reaccionan las lombrices.

La migración de las lombrices hacia los costados del Biofiltro o escapan del agua, lo cual puede pasar por los siguientes motivos:

- Variación Brusca del pH o alto contenido de sustancias tóxicas del agua, lo cual no sería un volcado típico de agua residual doméstica. En este caso se debe controlar que se está volcando al sistema, y en el caso que sea necesario, reemplazar el aserrín contaminado por uno nuevo. Una forma de darse cuenta es el cambio del color del aserrín en comparación al resto, por lo que se debe reemplazar la "mancha" distinta. Si bien es cierto puede morir un porcentaje de



lombrices ante una accidente así, la población de estas (alrededor de 2.000 a 3.000 por m²) no ve afectada su eficiencia.

- Exceso de agua o de carga orgánica, esto se refiere a la no homogenización del riego, sino que se concentre el agua en un solo punto, entonces las lombrices escapan del exceso de agua de carga orgánica y algunas veces cambia la coloración haciéndose mas clara. La solución es homogenizar el riego.

8.2.3.5. Operatividad.

Se describe en este apartado, el funcionamiento del proceso.

8.2.3.5.1. Estabilidad del proceso

En cuanto a las garantías de estabilidad del proceso, se deberá realizar un manual de operación y mantención, en el cual se establecen los cuidados que se deben tener para el correcto funcionamiento del sistema, estos son:

- Varillar acueductos en caso de obstrucción.
- Rastrillar la superficie del Biofiltro en caso de presentarse pozos o acumulaciones de agua.
- Una vez al año, retirar 15 a 20 cm de la parte superior del Biofiltro y rellenar con aserrín.
- Retirar sólidos no degradables y limpiar el canastillo de la planta elevadora.

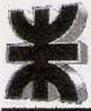
El Biofiltro en caso de no operar por largos periodos de tiempo o ver reducida la cantidad de carga orgánica o presentarse grandes fluctuaciones de ésta, no se producen daños o mala operación del sistema, esto por que la biomasa permanece activa en las distintas capas activadas por la población de lombrices que continúan alimentándose del aserrín del Biofiltro.

La población de lombrices se duplica en una semana, el proyecto contempla sembrar 1.000 lombrices / m² de Biofiltro, la población a la cual se llega en un Biofiltro para aguas servidas es de 3.000 lombrices/m² de Biofiltro, obteniéndose en una semana un funcionamiento optimo del sistema, hay que destacar que la carga orgánica queda retenida en las distintas capas del Biofiltro, por lo cual el periodo para alcanzar el buen funcionamiento del sistema se estima en una semana.

En caso de posibles derrames de algún químico en la red de alcantarillado, se produciría un daño en la biomasa, en este caso, en una semana se repararía la biomasa, periodo en el cual la descarga del sistema se mantendría en los parámetros aceptados dada la capacidad de retención del Biofiltro.

8.2.3.5.2. Control de malezas e insectos o animales indeseables.

La aparición de vectores se controlará o combatirá mediante campañas periódicas de desratización y desinfección de las instalaciones anexas al sistema de tratamiento de aguas servidas, además del manejo adecuado de las basuras generadas en la planta.



La aparición de malezas en el sistema de tratamiento será controlada y eliminada por medio de la operación del sistema de tratamiento y se traduce en el corte y eliminación de las mismas junto con las basuras recolectadas en la cámara de rejillas del sistema.

La población de lombrices del sistema se autoregula en relación a la carga orgánica tratada en el Biofiltro.

8.2.3.5.3. Manejo del humus.

Se prevé que existan como residuos solamente humus de lombriz y otros residuos sólidos no degradables tales como bolsas y otros elementos que quedarán retenidos en la cámara de rejillas, estos sólidos serán dispuestos como tales en lugares indicados para tal caso.

El humus será caracterizado e informado a los organismos correspondientes antes de su utilización como fertilizante natural.

8.2.3.5.4. Salida de servicio del sistema.

En caso de cortes de energía, el sistema permitirá la acumulación de las aguas servidas en la planta elevadora por un gran periodo, tiempo durante el cual, si no se ha remediado la contingencia, el agua servida se puede enviar al sistema de drenaje a través de una bomba.

Para el caso de mantenimiento, el sistema permite llegar a cualquier elemento, se puede vaciar la planta elevadora para cambio o mantención de la bomba, o cortar el sistema de riego para mantención de aspersores o ductos del Biofiltro.

8.2.3.5.5. Riesgos de trabajo y de ocupación de la planta.

Los riesgos a los que pueden estar expuestos los operadores de la planta son mínimos, para la mantención del Biofiltro se recomienda cerrar el sistema de bombeo y el uso de guantes de seguridad para rastillar, retirar el humus, varillar o reposición de algún aspersor.

Los accesos a la planta y las tapas de la planta elevadora (enterrada) deben mantenerse cerrados para seguridad de los usuarios del sistema.

8.2.3.5.6. Conclusión.

Con la utilización del lombrifiltro, se obtienen impactos positivos en la calidad de las aguas que se vierten a los cuerpos de agua o al subsuelo, ya que este tratamiento es muy eficiente en la remoción de los contaminantes y microorganismos patógenos. Reducciones superiores al 90%. Esto se debe a que este sistema se encuentra diseñado para el cumplimiento de la norma de utilización vigente

Es así, que los impactos positivos que se obtienen con el sistema Tohá, se traducen para las comunidades donde se encuentra instalado, en beneficios en los temas de



salud, con la disminución de las enfermedades gastrointestinales; mejor calidad de agua para sostener los ecosistemas acuáticos; el mejoramiento de la calidad de las aguas para diferentes usos, etc. Además, esta planta no genera lodos contaminantes, sino que produce humus, el cual es utilizado como abono natural.

El sistema Tohá, se considera un sistema ecológico para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que en el proceso no se usan aditivos químicos, ni se producen residuos contaminantes (lodos) como se mencionó anteriormente, lo que redundaría en muy poco consumo de energía, requiriéndola sólo para activar la bomba de la planta elevadora y para las cámaras de radiación ultravioleta. Por otro lado, la operación del sistema es simple y semejante a prácticas agrícolas, de fácil asimilación por el personal del sector municipal.

En conclusión, éste sistema es una alternativa aplicable, para este tipo de localidad, con el cual se obtienen resultados positivos frente al medio ambiente y a la salud humana. Además, hoy en día se debe tomar conciencia respecto de los recursos hídricos, ya que éste es un bien escaso e indispensable en el desarrollo de los seres vivos.

8.3. Caso de estudio, Federación

Se lleva adelante en este capítulo el análisis FODA para la ciudad de Federación.

8.3.1. Descripción de factores y Matriz Plana FODA Federación

Se presenta a continuación una memoria descriptiva breve sobre los distintos factores de la matriz FODA correspondiente al sistema de tratamiento de Federación, Tabla 8-13.

Esta descripción tiene como objetivo que el lector pueda interpretar de manera correcta los factores que se exhiben en la matriz, ya que en ella se presentan los mismos de manera sintética, para poder favorecer una adecuada presentación.

Hay que aclarar que las Fortalezas y Amenazas que a continuación se presentan fueron extractadas de la memoria descriptiva que se realizó sobre el sistema de tratamiento de Federación como así también surgidos de las visitas a la planta.

8.3.1.1. Debilidades

D1. Superación de la capacidad de la planta y equipamiento

La planta presenta una capacidad totalmente superada. Esto se puede ver reflejado en los distintos tratamientos a lo largo de su recorrido.

De las visitas realizadas se extractan los sistemas que presentaban serias deficiencias por esta debilidad.



El desarenador está compuesto por dos canales que pueden funcionar en forma alternada, facilitando la limpieza de uno mientras la circulación continua por el otro. Esta versatilidad pensada para el diseño no funciona actualmente en la planta ya que el sistema funciona con caudal en exceso, lo que imposibilita la detención del flujo en los canales.

A la salida de los dos canales que conforman el desarenador, se encuentra emplazada una canaleta Parshall de aforo de caudales, que se encuentra trabajando totalmente ahogada por el exceso de caudal que recibe la planta.

Los sedimentadores secundarios existentes, se encuentran trabajando sobrecargados, recirculando parte del barro que sedimenta en el fondo hacia los tanques de aireación y el resto a los espesadores de barros.

El equipamiento para la dosificación de la cloración se encuentra en un compartimiento diseñado a tal fin, pero es muy viejo y se encuentra visiblemente dañado por el uso y paso del tiempo.

Cámara de contacto colapsado. Generalmente el tirante líquido no debería sobrepasar la altura de los tabiques, obligando al flujo a transitar por todo el laberinto antes de concluir el proceso. Esto no se cumple en el caso de las horas picos de trabajo de la planta, ya que el caudal es excesivo y el tirante líquido sobrepasa los tabiques, produciendo un déficit en el tratamiento del efluente.

En la playa de secado de barros se tienen tiempos de retención menores, debido a que la acumulación del barro es excesivo por verse la planta superada en caudal, siendo la playa de secado una de las instalación que ha cumplido su vida útil.

D2. Deficiente sistema de aireación

Los sistemas de aireación aplicados a la planta cuentan con deficiencias de funcionamiento, disminuyendo la eficacia necesaria.

La problemática asociada a este tratamiento se lista a continuación.

Ocurre una concentración de residuos en las esquinas de las piletas de aireación y en algunos otros lugares muertos de las mismas.

Mecánicamente los tanques de aireación presentan el inconveniente del deterioro del sistema de inyección de aire.

El sistema de aireación produce un tamaño de burbujas excesivo, por lo que la incorporación de oxígeno pierde eficiencia depreciando el rendimiento del proceso.

A modo descriptivo, se puede decir que los tanques de aireación tienen colocados un sistema basado en la aspersion de aire a través de tuberías de PVC, las cuales se encuentran colocadas en el fondo de las unidades y fueron perforadas manualmente IN



SITU. El aire se insufla desde el exterior a través de dos sopladores que actúan simultáneamente en los tanques de aireación y en los digestores.

D3. Fallas estructurales

Los tanques de aireación presentan problemas de fisuración en las paredes perimetrales, lo que ocasiona filtraciones del efluente prácticamente crudo hacia el terreno circundante y la posible contaminación de las napas.

El mismo problema se detectó en el digestor aerobio de barros.

D4. Sistemas poco funcionales

Muchos tratamientos que se llevan a cabo en la planta presentan la debilidad de ser poco funcionales. Con esto se quiere decir que la metodología de funcionamiento es incomoda y acarrea con ello problemas asociados.

El sistema de descarga de camiones atmosféricos existente presenta el gran problema de no contar con un sistema de conexión de las mangueras de descarga de los camiones atmosféricos a la cámara que recibe los efluentes. También, el lugar de estacionamiento para la descarga de atmosféricos que se encuentra dentro del predio de la planta, no está debidamente delimitado de manera de impedir el ingreso de personas ajenas a la planta. El sistema se basa en el volcamiento sobre un playón que contiene cantos rodados que permiten una pequeña filtración del líquido, antes de conducirlo al ingreso de la planta. La superficie de este lecho se limpia manualmente, aunque muchas veces se tapona y desborda.

El sistema de digestión de los barros presenta el gran inconveniente de ser un sistema no flexible. Tienen instalado un sistema similar al de los tanques de aireación y se insufla desde los sopladores aire simultáneamente a ambas unidades. El problema es que se debe detener toda la aireación para lograr sedimentar el barro al fondo de los digestores, para posteriormente dirigirlos a las playas de secado.

8.3.1.2. Fortalezas

F1. Operatividad de la planta con mínimo de personal

La planta se maneja con solo dos personas por turno.

F2. Baja producción de olores en la planta e inmediaciones

No se produce una cantidad considerable de olores en la planta, algo muy típico de esta clase de sistemas, aunque vale aclarar que en días de temperaturas elevadas y con viento se pueden percibir algunos olores desagradables. Pese a esto, no se han registrado quejas debido a los olores que puede despedir la planta.

F3. Correcta delimitación del predio



El predio se encuentra correctamente delimitado y cercado por una cortina de Eucaliptos que mejoran el aspecto de la planta y hacen de barrera para los olores que puedan desprenderse de los tratamientos llevados a cabo.

F4. Correcta ubicación

La ubicación de la planta es muy buena desde el punto de vista de la descarga de los efluentes, ya que se encuentra muy cercana al cuerpo receptor.

8.3.1.3. Amenazas

A1. Importante aumento de la población en temporada

La ciudad de Federación, cuenta según el último censo realizado por INDEC en el año 2001, con una población estable de alrededor de 12.260 personas. Sin embargo, la población turística en época invernal y de verano suele duplicar la población estable.

A2. Necesidad de mantenimiento periódico constante

Estamos ante un sistema de tratamiento general que demanda una importante inversión en mantenimiento. Esto se debe a la presencia de mucho equipamiento electromecánico. A su vez, muchos de ellos ya han superado largamente los 10 años de vida útil, parámetro que generalmente es tomado como límite.

A3. Complejos habitacionales cercanos

La población ha ido ocupando zonas aledañas a la planta, y actualmente se asientan a pocos cientos de metros de la misma.

8.3.1.4. Oportunidades

O1. Existencia de líneas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar

Existen diferentes entidades que podrían facilitar los recursos económicos para la construcción de las instalaciones faltantes. La más importante, debido a que ya ha tenido participación activa en la comunidad es CAFESG.

O2. Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de tratamientos de aguas residuales no escapan al avance de la tecnología en general. Por este motivo, es una oportunidad de relevancia en el estudio que nos ocupa.



Matriz Plana FODA			
Fortalezas		Debilidades	
F1	Operatividad de la planta con mínimo de personal	D1	Superación de la capacidad de la planta y equipamiento
F2	Baja producción de olores en la planta e inmediaciones	D2	Deficiente sistema de aireación
F3	Correcta delimitación del predio	D3	Fallas estructurales
F4	Correcta ubicación	D4	Sistemas poco funcionales
Oportunidades		Amenazas	
O1	Existencia de líneas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar	A1	Importante aumento de la población en temporada
O2	Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales	A2	Necesidad de mantenimiento periodico constante
		A3	Complejos habitacionales cercanos

Tabla 8-13 . Matriz FODA Federación.

8.3.2. Análisis y Matriz de estrategias

Al momento de culminarse los estudios de campo en el sistema de tratamiento de Federación, se aprontaban los trabajos de remodelación de la planta. Estos trabajos de remodelación se encuentran finalizados en la actualidad.

Si bien se podría efectuar un análisis FODA siguiendo los lineamientos de las plantas de tratamiento anteriores, resulta más beneficioso, atendiendo a los objetivos del trabajo, realizar este análisis teniendo en cuenta los trabajos de remodelación llevados a cabo.

Por lo tanto, este análisis FODA difiere de los realizados anteriormente. Esta diferencia radica en el hecho de que se planteara una matriz de estrategias, a partir de los factores FODA evaluados, pero de dicha matriz de estrategias se analizaran las soluciones ya efectuadas en la remodelación de la planta. En caso de que del entrecruzamiento de factores surja una solución que no haya sido tenida en cuenta en la remodelación, la misma se analizara según la metodología que se venia utilizando.

De esta manera se puede evaluar las soluciones ya llevadas a cabo y complementarlas con aquellas que no hayan sido tenidas en cuenta. A su vez, esta metodología enriquece al lector a la hora de diseñar tratamientos futuros, sirviendo así como una herramienta de trabajo adicional.

Sobre la Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales existente se planteó un Proyecto Integral de Remodelación y Ampliación de su capacidad de depuración.

Este Proyecto Integral incluye tanto la construcción de un Nuevo Módulo de Tratamiento completo, como así también la refuncionalización y remodelación de las instalaciones existentes

Teniendo en cuenta la limitaciones presupuestarias fue necesario ejecutar este Proyecto por Etapas, considerando prioritariamente que la Planta existente debe continuar en permanente funcionamiento puesto que no existen otras posibilidades de



disposición de los efluentes cloacales de la ciudad, en virtud que resulta definitivamente desaconsejable la descarga al lago, de estos efluentes crudos.

Es por esta razón que la Planta existente, continuó operando en forma individual e ininterrumpida hasta la fecha, a pesar de los trabajos de ampliación que se desarrollaron en el predio, habiéndose planificado la ejecución de la totalidad de la obra mediante etapas que permitan la incorporación paulatina de mejoras, dejando para el final la remodelación de las instalaciones existentes, cuando ya se encuentre en pleno funcionamiento el Nuevo Módulo de Tratamiento.

8.3.2.1. Debilidades vs. Amenazas

Se desarrolla a continuación las estrategias que pretenden minimizar Debilidades y contrarrestar Amenazas, Tabla 8-14.

		Debilidades			
		Superación de la capacidad de la planta y equipamiento	Deficiente sistema de aireación	Fallas estructurales	Sistemas poco funcionales
		D1	D2	D3	D4
Amenazas	Importante aumento de la población en temporada	A1	*		
	Necesidad de mantenimiento periodico constante	A2			
	Complejos habitacionales cercanos	A3			

Tabla 8-14. Matriz Debilidades – Amenazas Federación.

D1 - A1

Para superar la Debilidad teniendo en cuenta la Amenaza, se han efectuado los cálculos demográficos para la ampliación del sistema. Estos cálculos se realizaron por 3 métodos convencionales, adoptándose el que dio mayor población, a fin de poder absorber la avenida turística en temporada.

Para un mayor entendimiento, se muestra el Grafico 8-1, extractado de la memoria de cálculo de Federación, como así también un pequeño párrafo.

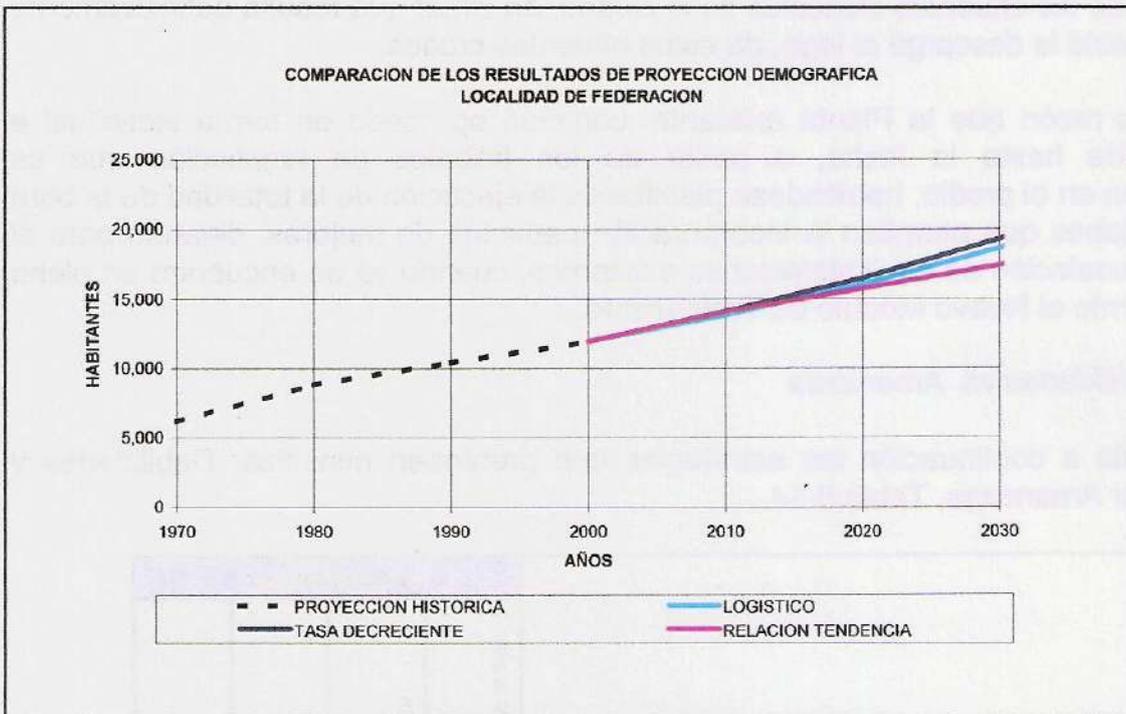


Grafico 8-1. Proyección demográfica.

“Se adopta el método de tasas decrecientes, de acuerdo a las expectativas altas de crecimiento, basadas en el aumento de turismo que tuvo la localidad en los últimos años, como consecuencia de las termas locales.

Asimismo se ha agregado la Población adicional debida al Turismo.”

8.3.2.2. Debilidades vs. Oportunidades

Se desarrolla a continuación las estrategias que pretenden minimizar Debilidades y explotar las Oportunidades, Tabla 8-15.

D1 - O1

A través de la explotación de la Oportunidad expuesta en la matriz, se ha minimizado la Debilidad planteada. Las soluciones llevadas a cabo se expresan a continuación.

Cámara de Rejas y Desarenadores de Ingreso.

Se ha construido una reja de limpieza manual y un desarenador que descarga el líquido de fondo para su deshidratación en dos nuevas playas de secado de arena. Estas unidades, permiten tratar el efluente del módulo existente y el nuevo. La arena es transportada con bombas desde una cámara de recolección del desarenador, hacia las Playas de Secado de Arena.



Sedimentador Secundario

Se ejecuto un nuevo sedimentador, que permite decantar el líquido antes de su descarga a la cámara de contacto y recolectar el barro de fondo que es recirculado al proceso, y el excedente de éste, enviado al nuevo espesador de barro.

		Debilidades				
		Superación de la capacidad de la planta y equipamiento	Deficiente sistema de aireación	Fallas estructurales	Sistemas poco funcionales	
		D1	D2	D3	D4	
Oportunidades	Existencia de líneas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar	01	*	*	*	*
	Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales	02				

Tabla 8-15. Matriz Debilidades – Oportunidades Federación.

Cámara de contacto

Se prolongaron en altura los tabiques divisorios, se reparo la terminación superficial en la estructura de hormigón y coloco un vertedero de medición de caudal a la salida.

Playas de Secado de Barros

Se construyeron nuevas playas de secado de barros para ampliar la capacidad existente. Las playas necesarias son 16. Como actualmente existen 6, se ejecutaron un número total de 10.

No se ha efectuado la reposición de nuevos equipos para la dosificación de cloro. Estos equipos son viejos y se encuentran en mal estado. Si bien el sistema continuaba clorando, no se tiene información el equipamiento presenta problemas con los nuevos caudales a tratar.

Sin embargo, mas allá de que los equipos puedan seguir funcionando, el sistema en el estado actual representa un riesgo para los operarios que realizan las maniobras.



D2 - 01

Se construyó, como 1º Etapa de este Proyecto, un nuevo tanque de aireación en donde se cumple el proceso de aireación extendida, es decir, la digestión del líquido en conjunto con el barro a través de la oxigenación hasta lograr la fase de respiración endógena de las bacterias. Para esto se ha previsto una recirculación del líquido del 100 % del caudal de diseño. Para lograr esta finalidad se equipararon los Tanques de Aireación antiguos con nuevos Equipos Sopladores y grillas de distribución de aire con difusores de membrana elástica para la producción de microburbujas.

D3 - 01

Se transcribe a continuación lo especificado en el pliego de especificaciones técnicas particulares, en donde se cita el trabajo a realizar para que la Debilidad pueda subsanarse. La realización de este trabajo no pudo ser constatada por los que suscriben este estudio, ya que no se realizaron visitas al lugar luego de la fecha en que estaban especificados estos trabajos.

“Se deberá proceder a reparar las estructuras, sellando fisuras y desprendimientos del material, una vez que se haya limpiado toda la superficie interior de las mismas utilizando un lavado mediante arenado. Se utilizarán selladores tipo Sika Top 107 Seal o igual calidad o resinas epoxi sin solventes impermeabilizantes aptas para estar en contacto permanente con líquido cloacal”.

D4 - 01

Actualmente existe una descarga máxima de 10 camiones diarios. Estas se producen por la falta de una estación de bombeo en parte de la red que acumula el líquido y la cual al no poder ser evacuada de otra manera, debe ser retirada por los camiones atmosféricos. Esto produce que las descargas contengan líquidos con baja concentración orgánica, en la mayoría de los casos, difiriendo de los vuelcos característicos sobrecargados de este tipo de efluentes. Por lo tanto se construyó un sistema, en las inmediaciones del actual, que permite su recepción, tamizado y posterior transporte hasta la cámara de ingreso a los nuevos desarenadores.

Para dar solución al sistema de digestión de los barros se efectuaron los siguientes cambios.

Espesador de Barro estático

Se construyó un espesador de barro estático que permite una concentración del mismo antes de la descarga a las playas de secado.

Estación de Bombeo de Barros

Se construyó una nueva Estación de Bombeo completa que impulsa el total de barro de recirculación (Módulo viejo y nuevo) hacia una cámara distribuidora que lo conduce a cada uno de los tanques de aireación existentes. De la tubería de impulsión general, se



sacaron derivaciones hacia los espesadores de barros remodelados (actuales digestores aeróbicos) y hacia el espesador nuevo, para poder purgar el barro en exceso del proceso. La estación de bombeo existente quedará destinada a eventuales bombeos de lodos hacia las playas de barro.

8.3.2.3. Fortalezas vs. Amenazas

Se desarrolla a continuación las estrategias que pretenden maximizar Fortalezas y minimizar Amenazas, Tabla 8-16.

		Fortalezas				
		Operatividad de la planta con mínimo de personal	Baja producción de olores en la planta e inmediaciones	Correcta delimitación del predio	Correcta ubicación	
		F1	F2	F3	F4	
Amenazas	Importante aumento de la población en temporada	A1				
	Necesidad de mantenimiento periodico constante	A2	*			
	Complejos habitacionales cercanos	A3		*		

Tabla 8-16. Matriz Fortalezas – Amenazas Federación.

F2 - A3

Si bien esta planta no produce en general olores desagradables, durante el periodo de visitas se pudo corroborar que estos olores se podían sentir. Esta claro que durante las distintas visitas efectuadas a la planta, la misma se encontraba trabajando totalmente colapsada. Se podría entender que con las obras de refacción y ampliación, estos problemas se verían solucionados.

De igual manera, pese a una presencia poco frecuente de los olores en el predio y alrededores, el mayor detalle a prestar atención esta en la ubicación de residencias en sus alrededores. Si bien ya existe una considerable cantidad de casas, se pudo observar un continuo aumento de loteos residenciales en terrenos muy cercanos a la planta de tratamientos. La planta se encuentra correctamente delimitada y cuenta con una barrera de árboles en un sector importante del perímetro.



Se debería estudiar que sucede con los olores en la planta a partir del funcionamiento de esta con sus refacciones. En caso de que se detecten olores frecuentes, tomar las medidas correctivas pertinentes. Como la ampliación de la cortina de árboles. A su vez, el municipio debería tomar medidas sobre los terrenos, informando a la gente sobre el estudio del problema y sus posibles soluciones. Hay que tener en cuenta que una vez que la gente se instala y se encuentra con los olores periódicos en el ambiente, comienzan las entendidas protestas y pedido de medidas al municipio. Es preferible encarar el problema preventivamente, y aun se esta en condiciones de prevenir en este sentido.

F1 - A2

Si bien se ve como una Fortaleza que la planta se pueda operar con solo 2 empleados, se encuentra como Amenaza el mantenimiento periódico de la planta.

Es por ello que para contrarrestar la Amenaza, se deben contar con operarios capacitados para cumplir la función de mantenimiento de manera correcta. Esta dificultad radica en la diversidad de equipamiento que se encuentra en la planta.

A su vez, los operarios deberán conocer el principio de funcionamiento del sistema, de manera poder determinar las urgencias con las que se deben llevar a cabo los trabajos, o los problemas que se puedan presentar.

Es de fundamental importancia capacitar a los operarios en el tratamiento a dar a los distintos equipamientos de la planta, los cuidados a tener, los problemas que se puedan presentar, la periodicidad del mantenimiento de cada uno de los equipos, etc. De esta manera, con la capacitación del personal a cargo, se maximizan Fortalezas, y se contrarresta con eficiencia la Amenaza.

8.3.3. Desarrollo de alternativas

Durante el tiempo de realización de este trabajo de investigación, se llevaron adelante las tareas de ampliación de la planta descritas en el capítulo 5.3.2., que contempla las soluciones a los problemas antes mencionados, por lo que es necesario aclarar que el análisis del funcionamiento de la planta con las nuevas instalaciones es un punto a estudiar a futuro.

8.4. Caso de estudio, Chajari

Se lleva adelante el estudio cualitativo a través del análisis FODA.

8.4.1. Descripción de factores y Matriz Plana FODA

Se presenta a continuación una memoria descriptiva breve sobre los distintos factores de la matriz FODA, Tabla 8-17, correspondiente al sistema de tratamiento de Chajari.



Esta descripción tiene como objetivo que el lector pueda interpretar de manera correcta los factores que se exhiben en la matriz, ya que en ella se presentan los mismos de manera sintética, para poder favorecer una adecuada presentación.

Hay que aclarar que las Fortalezas y Amenazas que a continuación se presentan fueron extractadas de la memoria descriptiva que se realizó sobre el sistema de tratamiento de Chajarí como así también surgidos de las visitas a la planta.

8.4.1.1. Debilidades

D1. Única batería de lagunas

En esta clase de sistemas lo más común es contar con lagunas de menores dimensiones pero en dos baterías paralelas. En el caso de los sistemas adoptados solo están compuestos por una batería para cada sistema, lo que limita al vertido del efluente crudo al cuerpo receptor, en caso de averías, o de tareas de mantenimiento.

D2. Importantes daños estructurales

Se pudieron registrar varios daños estructurales, los que a continuación se mencionan.

El sistema Oeste contaba con una estructura de entrada que incluía una cuba de mampostería, dentro de la cual el fluido circulaba por un laberinto de dos canales, para aquietar el flujo y de esa manera separar a través de una pequeña cámara de rejillas los sólidos más gruesos del resto del efluente. Actualmente, el deterioro de esta cámara es total, presentando fisuras que ocasionan filtraciones de efluente en los alrededores de lugar.

También en el sistema Oeste, la salida de los efluentes hacia el cuerpo receptor se realiza a través de cañería de hormigón armado de 400mm de diámetro, que terminan directamente sobre la margen del arroyo, pero con una altura de dos metros por sobre el nivel del tirante líquido del arroyo. Esto provoca una erosión importante de las márgenes del arroyo, dificultando a su vez el correcto encauzamiento de las aguas residuales en la corriente del cuerpo receptor.

Siguiendo con el sistema Oeste, la cámara de rejillas o estructura de retención de sólidos esta inutilizada, y durante el periodo de visitas de esta investigación, se pudo observar que la misma estaba destruida, y se daban por comenzadas las fases de reparación.

En cuanto al sistema Este, se observó que la estructura de entrada tiene el caño de descarga fracturado, por lo que se lo extrajo, quedando la caída del efluente fuera de la protección de erosión constituida por una platea de hormigón, levantando la misma y rompiéndola por completo.

Otra falla estructural que se presenta en ambos sistemas se da debido a que la delimitación de los estanques está constituidos por terraplenes o coronamientos sobre terreno natural, dándose así una importante erosión de taludes provocada por el escurrimiento del agua de las precipitaciones.



D3. Elevada producción de olores en la planta e inmediaciones

Los estanques anaerobios se caracterizan por producir olores desagradables cuando las cargas hidráulicas que recibe son muy grandes, en días de verano o con viento. Esto se transforma en un problema importante en el sistema Oeste ya que se encuentra inmerso en un centro poblado.

D4. Falta de medidas de seguridad

No existen medidas de seguridad que tiendan a prevenir accidentes en la planta, o por el solo hecho de cuidar las instalaciones de las mismas. Ambos sistemas se encuentran totalmente abiertos y libres al paso de cualquier persona. Este problema, si bien es el mismo para ambos sistemas, toma relevancia en el sistema Oeste, ya que se encuentra emplazado en una zona urbanizada.

D5. Equipamiento electromecánico fuera de servicio

En el sistema Este, durante el periodo de visitas, las lagunas no contaban con ingreso de caudal, ya que las bombas de la estación estaban fuera de servicio, no evidenciándose un sistema de apoyo.

D6. Falta de compromiso de la autoridad competente

La municipalidad no cuenta de personal estable para la atención de los sistemas de tratamiento, y ese nulo mantenimiento se hizo notar en las sucesivas visitas. Tal es la falta de compromiso que en el sistema Oeste se produjo durante una considerable cantidad de tiempo, el vertido del efluente crudo en terrenos linderos al de las lagunas.

D7. Capacidad limite de las plantas alcanzado

El sistema de lagunas esta diseñado para una población de 28.000 habitantes, siendo esta la población actual, por lo que se puede decir que las plantas están al limite de su correcto funcionamiento, igualándose lo proyectado con la actual población.

8.4.1.2. Fortalezas

F1. Cobertura casi total de la población con servicio de cloacas

La ciudad cuenta con red de cloacas y agua potable para casi la totalidad de la población, alcanzando niveles de servicio del 98%.

F2. Correcta ubicación

El sistema Este aun se encuentra alejado de la zona urbana, en una zona que no supone crecimiento poblacional.



8.4.1.3. Amenazas

A1. Aumento significativo de los caudales en cuerpos receptores en casos de lluvias

La ciudad cuenta con el arroyo Chajarí y el Arroyo Yacaré, que son los cuerpos receptores de los efluentes cloacales. Los caudales de estos arroyos se incrementan de manera importante, en días de lluvias, ya que son los puntos de escurrimiento de toda la cuenca que abarca la ciudad.

A2. Abastecimiento de agua potable a través de pozos de bombeo

La ciudad toma agua potable para consumo de pozos de bombeo, por lo que debe ser muy importante evitar la contaminación de napas.

A4. Sistemas de tratamientos inmersos en zonas urbanas o en cercanías

El sistema Oeste está inmerso en la zona urbana, de tal manera que ha quedado a escasos metros de dos barrios, lo que ocasiona olores molestos en la población y la peligrosidad propia del contacto habitual. Es normal encontrar animales y personas en general en el predio, incluso vacunos que muchas veces consumen el agua de las lagunas.

A5. Superficie excesiva para una batería de lagunaje

El sistema Este es un estanque rectangular, de 90 metros por 200 metros, con una profundidad de 3,50 metros y una superficie de 18000 metros cuadrados, que excede lo aconsejado por la bibliografía, por lo menos para una batería de piletas.

8.4.1.4. Oportunidades

O1. Capacidad técnica profesional local para el desarrollo de los proyectos

Se cuenta con profesionales capacitados para la realización de todo trabajo necesario sobre los sistemas de saneamiento. Además la delegación Chajarí, dependiente de CAFESG, esta en condiciones de realizar los proyectos necesarios para las reparaciones u obras necesarias para el correcto funcionamiento de las lagunas.

O2. Existencia de líneas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar

La CAFESG realiza inversiones de manera continua para distintas obras dentro de la ciudad. No se debe dejar de nombrar también al ENOHSA, que financia esta clase de obras de saneamiento.

O3. Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales

Los sistemas de tratamientos de aguas residuales no escapan al avance de la tecnología en general. Por este motivo, es una oportunidad de relevancia en el estudio que nos ocupa.



Matriz Plana FODA			
Fortalezas		Debilidades	
F1	Cobertura casi total de la población con servicio de cloacas	D1	Importantes daños estructurales
F2	Correcta ubicación (SE)	D2	Elevada producción de olores en la planta e inmediaciones.
		D3	Falta de medidas de seguridad
		D4	Equipamiento electromecánico fuera de servicio (SE)
		D5	Falta de compromiso de la autoridad competente
		D6	Capacidad límite de las plantas alcanzado
Oportunidades		Amenazas	
O1	Capacidad técnica profesional local para el desarrollo de los proyectos.	A1	Aumento significativo de los caudales en cuerpos receptores en casos de lluvias.
O2	Existencia de líneas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar.	A2	Abastecimiento de agua potable a través de pozos de bombeo
O3	Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales.	A3	Sistemas de tratamientos inmersos en zonas urbanas o en cercanías (SO)
		A4	Superficie excesiva para una batería de lagunaje (SE)

Tabla 8-17. Matriz Plana FODA Chajari.

8.4.2. Análisis y Matriz de estrategias

Del análisis de los sistemas de tratamientos de Chajari se ha podido analizar una serie de dificultades, que hacen imposible hacer funcionar correctamente a ambos sistemas de la manera en que lo vienen haciendo.

Por este motivo se ha optado por utilizar las instalaciones únicamente del sistema Este, con las rectificaciones que se detallan en el punto 8.4.3.

De todos modos, se hará un análisis del sistema actual y se propondrán posibles soluciones a los problemas encontrados. El lector notará así las dificultades encontradas a la hora de poder llevar adelante soluciones integrales en ambos sistemas.

8.4.2.1. Debilidades vs. Amenazas

Se desarrolla a continuación las estrategias que pretenden minimizar Debilidades y contrarrestar Amenazas, Tabla 8-18.



			Debilidades						
			Unica bateria de lagunas	Importantes daños estructurales	Elevada produccion de olores en la planta e inmediaciones.	Falta de medidas de seguridad	Equipamiento electromecanico fuera de servicio (SE)	Falta de compromiso de la autoridad competente	Capacidad limite de las plantas alcanzado
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Amenazas	Aumento significativo de los caudales en cuerpos receptores en casos de lluvias.	A1							
	Abastacimieto de agua potable a traves de pozos de bombeo	A2							
	Sistemas de tratamientos inmersos en zonas urbanas o en cercanias (SO)	A4			*	*		*	
	Superficie excesiva para una bateria de lagunaje (SE)	A5	*						

Tabla 8-18. Matriz Debilidades – Amenazas Chajari.

D1 - A5

Como se explico en la memoria descriptiva de las lagunas de tratamiento de Chajari, estas se componen por dos sistemas pero de trabajo independiente, es decir que cada uno de los sistemas de lagunaje atienden una proporción del líquido residual total, sin estar comunicados entre ellos. A su vez, ambos sistemas están integrados por una única batería de lagunas, obligando en caso de algún desperfecto al volcado del líquido crudo al cuerpo receptor.

Si bien las lagunas presentan una superficie que estaría en los rangos marcados por la teoría para esta clase de sistemas, el problema radica en la conformación de estas en un sistema con única batería.

Por los motivos expresados se podría plantear la división de las lagunas actuales, sobre todo en el sistema Este, que es el que presenta una superficie mayor. Sin embargo, la división de dichas lagunas conformaría una disposición geométrica (relación de lados) que no es apta para el correcto funcionamiento. En caso de que se encuentre una disposición que medianamente respete la geometría teórica de uso, se deberá caer indefectiblemente en excavaciones y rellenos, según sea el caso, ya que parte de las lagunas que conformaban el sistema anaerobio deberá pasar a ser facultativo y viceversa.

A todo esto se debería sumar el hecho de que se deberán estudiar las pendientes del terreno y los sistemas de lagunaje, de manera que los mismos puedan seguir trabajando por gravedad o con el sistema mixto de gravedad y bombeo, tratando siempre de buscar una disposición que aproveche las instalaciones actuales, reduciendo así los costos del proyecto.



No se ha efectuado un estudio de este tipo por no contar con la información necesaria para su desarrollo.

Con los párrafos anteriores se deja en claro las dificultades que se hallaron al planear una transformación de los sistemas en otro, con una disposición adecuada para un uso correcto y funcional de los mismos, tal cual lo marca la practica convencional.

D3 - A4

Esta clase de sistema de tratamiento se caracteriza por una elevada producción de olores, por lo que es sumamente importante el lugar de implantación de las lagunas y los trabajos que se realicen para la atenuación de los olores.

Ambos sistemas, el Oeste y el Este, se podría decir que poseen el mismo problema, la producción de olores desagradables. Con la singularidad de que el sistema Oeste es el mas comprometido por contar a su vez con un centro poblado a pocos metros. Esta desventaja no se presenta en el sistema Este, que si bien esta cerca de un barrio, esta distancia es lo suficientemente razonable como para creer que con mínimos tratamientos los olores podrían ser neutralizados antes de que puedan ser sentidos por los habitantes más cercanos.

Se hace aquí un apartado de esta problemática teniendo en cuenta solamente el sistema Oeste. Como ya se ha explicado con anterioridad, la presencia de plantas de este tipo y la emanación de olores puede provocar en la población afectada los siguientes problemas:

- Problemas de salud.
- Impacto visual negativo.
- Baja significativa del confort de vida.
- Descenso de los costos de los terrenos.

Algunos de los efectos en la salud que podrían llegar a presentarse son: inflamación de las vías respiratorias altas, síndrome tóxico por polvo orgánico (STPO), problemas digestivos, reacciones alérgicas, enfermedades cutáneas e irritación de los ojos y las mucosas.

En cuanto al impacto visual esta claro que una planta de tratamiento de este tipo, si no se trabaja para corregirlo, incide de manera totalmente negativa.

El confort de vida disminuye debido a que los pobladores deben vivir con un olor desagradable en el ambiente todo el tiempo, incrementándose los mismos en días de verano o viento.

Existe también un impacto negativo en la economía de los pobladores, ya que sus terrenos pasan a valer mucho menos que originalmente.

Se ha pensado en plantear una cortina de árboles, tratando así de generar una barrera natural para los olores y una atenuación en el impacto visual. Esta cortina debería tener



tamaños considerables, debiendo conformarse en varias líneas, ya que los olores a amenguar son importantes y la cercanía de la población lindera obliga a crear una barrera visual frondosa. Sin embargo la disposición de la laguna en el terreno hace imposible esto, ya que la misma se encuentra pegada a un camino, no quedando espacio fijo para la colocación de la barrera. Esta claro que se podría considerar la relocalización de un tramo de camino, pero esto implicaría la expropiación de terrenos linderos, lo que lo hace impracticable económicamente.

Por otra parte, la producción de olores y la cercanía de los habitantes es de tal magnitud que hace poner en duda que una cortina de árboles pueda funcionar satisfactoriamente como una barrera contra los olores.

En cuanto al sistema Este, la aplicación de la barrera de árboles puede ser aplicada sin inconvenientes, siendo una solución natural para los olores, atenúa el impacto visual e integra la planta al ambiente paisajísticamente hablando.

D4 - A4

En ambos sistemas se puede apreciar una falta total de medidas de seguridad. Al referirse a medidas de seguridad se hace mención a un vallado perimetral, cartelaria, etc.

Si bien este problema se presenta en ambos sistemas, Oeste y Este, se acentúa con mayor intensidad en el primero nombrado ya que se cuenta con población en sus cercanías.

La falta de estas medidas puede llevar a que se generen accidentes en las plantas, ya que las profundidades de las lagunas son importantes.

A su vez, la falta de delimitación de los predios hace que las instalaciones queden descubiertas al paso de cualquier persona, produciéndose robos y destrozos en las mismas.

Por los motivos citados, se plantea la realización de un vallado perimetral y la colocación de la cartelaria informativa y de precaución en los sistemas de tratamientos, cuidando de esa manera la integridad de las personas que circulan por la zona como así también de las instalaciones en general.

Se debe hacer aquí la salvedad de que el vallado propuesto debe mantener una distancia prudencial con el perímetro de las lagunas. Esta distancia prudencial esta en condiciones de respetarse en el sistema Este, pero no en el Oeste. Como ya se menciono en apartados anteriores, este sistema se encuentra a la vera de un camino, no pudiendo de esa manera ser compatible la distancia a mantener entre el perímetro de la laguna y el vallado y la vera del camino y el vallado.



Además, al compartir el sistema Oeste el ambiente con la población cercana, se debería pensar en un cerco con mayores dimensiones, que sea una verdadera limitante física al paso de la gente en general, con el consiguiente incremento económico.

Como conclusión se deja en claro que la solución a la problemática planteada encuentra solución aplicable únicamente en el sistema Este.

D6 - A4

Ya se ha hablado sobre la cercanía que presenta la población al sistema Oeste, y también se hablo de la falta de compromiso de la autoridad competente.

La vecindad de la población y la planta de tratamiento de esta clase de residuos pueden afectar perjudicialmente la salud. "Los principales problemas de salud observados están causados por bioaerosoles que contienen diversos microorganismos transmitidos por vía respiratoria, como **mohos y endotoxinas, así como compuestos orgánicos volátiles (COV)**. Algunos de los efectos en la salud comunicados son: inflamación de las vías respiratorias altas, síndrome tóxico por polvo orgánico (STPO), problemas digestivos, reacciones alérgicas, enfermedades cutáneas e irritación de los ojos y las mucosas." [Plataforma ciudadá en defensa da comarca do Ribeiro; 3 Marzo 2009].

En este sentido se plantea que las autoridades realicen estudios médicos periódicos sobre una muestra de la población afectada, de manera de tener un control de las reacciones citadas en el párrafo anterior, teniendo en cuenta que los más débiles en estos casos son las personas mayores de 60 años y los niños. Esta acción tiene un costo mínimo para el municipio y tiende a realizar una prevención sobre la población.

Se debe tener en cuenta que la acción sobre una afección ya consumada en la población como consecuencia de la cercanía de las plantas, traerían al municipio costos económicos, políticos y sociales muchísimo mas importantes.

"Los colectivos humanos que han de vivir y trabajar cerca de las plantas de tratamiento de residuos tóxicos y peligrosos, previamente han de recibir información honesta, clara, comprensible y detallada de sus ventajas e inconvenientes. Es la condición principal para decidir libremente el grado de hipoteca ambiental y sanitaria que están dispuestos a aceptar o a rechazar." [Plataforma ciudadá en defensa da comarca do Ribeiro; 3 Marzo 2009].

8.4.2.2. Debilidades vs. Oportunidades

Se desarrolla a continuación las estrategias que pretenden minimizar Debilidades y explotar las Oportunidades, Tabla 8-19.

D2 - O1

Ya se ha explicado en la descripción de la D2 cuales eran los problemas estructurales que se presentaban. Todos los allí expuestos son de fácil reparación para un mejor funcionamiento de las lagunas y otros para un cuidado del ambiente donde las mismas



se ubican. Existe una apreciable capacidad técnica local como para remediar los problemas que se presentan, ya sea a través del municipio o de CAFESG (Comisión Administradora de los Fondos Especiales de Salto Grande), la cual cuenta con un sobrado staff de profesionales para las obras necesarias, aparte de realizar proyectos asiduamente en la comunidad.

A partir de la determinación de la estrategia en general a ejecutarse sobre los sistemas de Chajari se plantearan las obras de prioridad y las alternativas de solución.

			Debilidades						
			Unica bateria de lagunas	Importantes daños estructurales	Elevada produccion de olores en la planta e inmediaciones.	Falta de medidas de seguridad	Equipamiento electromecanico fuera de servicio (SE)	Falta de compromiso de la autoridad competente	Capacidad limite de las plantas alcanzado
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Oportunidades	Capacidad tecnica profesional local para el desarrollo de los proyectos.	01		*				*	*
	Existencia de lineas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar.	02						*	*
	Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales.	03	*						

Tabla 8-19. Matriz Debilidades – Oportunidades Chajari.

D6 - D7 - O1 - O2

Existe una clara falta de compromiso de la autoridad competente para poder darle una solución a los sistemas estudiados. Esto se pone de manifiesto en la falta casi total de mantenimiento de las instalaciones y el deterioro del cual ya se ha hablado. Como complemento, los sistemas de lagunaje se encuentran casi con su capacidad al límite para atender a la totalidad de la población, por lo que ya se debería haber puesto en funcionamiento un proyecto que permita ampliar la capacidad de las mismas.

La falta de compromiso se advierte a partir de la existencia de capacidad técnica para la concreción de los trabajos, como así también la existencia de líneas de financiamiento, con lo cual esta claro que no existe un compromiso en busca de darle solución a los problemas encontrados en las lagunas y su área de influencia.

Esta conclusión es arbitraria del grupo que suscribe el trabajo y tomada a partir de las sucesivas visitas a la zona.

La capacidad técnica y el financiamiento se resumen en una sola entidad, CAFESG (Comisión Administradora de los Fondos Especiales de Salto Grande), que cuenta con



una oficina técnica en Chajarí. Esta entidad ha realizado innumerables trabajos de ingeniería en la ciudad y su área de influencia.

Por los motivos citados, la remediación es posible ya que la oportunidad que se plantea a través de un organismo como CAFESG es de suma importancia, debiendo tomarse el compromiso, hoy faltante, por parte de las autoridades municipales competentes.

A partir del análisis citado en esta estrategia se plantearán alternativas que permitan una ampliación de la capacidad de las piletas, de manera de darle tratamiento a la totalidad de las aguas residuales actuales y venideras.

D1 - O3

Solución desarrollada en el punto 8.4.3.

8.4.2.3. Fortalezas vs. Amenazas

Se desarrolla a continuación las estrategias que pretenden maximizar Fortalezas y contrarrestar Amenazas, Tabla 8-20.

		Fortalezas		
		Cobertura casi total de la población con servicio de cloacas	Correcta ubicación (SE)	
		F1	F2	
Amenazas	Aumento significativo de los caudales en cuerpos receptores en casos de lluvias.	A1		
	Abastecimiento de agua potable a través de pozos de bombeo	A2		
	Sistemas de tratamientos inmersos en zonas urbanas o en cercanías(SO)	A4		*
	Superficie excesiva para una batería de lagunaje (SE)	A5		

Tabla 8-20. Matriz Fortalezas – Amenazas Chajarí.

F2 - A4

Ya se ha comentado la grave problemática que presenta el sistema Oeste, donde las personas comparten su hábitat con las lagunas de tratamiento.



Es el caso contrario de lo que sucede en el sistema Este, el cual su ubicación no ha sido perjudicial para los habitantes mas cercanos debido a la distancia que se guarda.

Sin embargo, se insta desde este estudio a que las autoridades tomen medidas preventivas en este sentido, teniendo en cuenta lo del sistema Oeste.

Es decir, el municipio deberá promulgar una ordenanza que regule el uso que se le deberá asignar a los terrenos linderos a la planta, evitando en todos los casos que se asienten personas en dichos lugares.

No existe una determinante en cuanto a la distancia minima entre planta y población, sin embargo, se pueden tomar parámetros salidos de mediciones realizadas en el sistema Oeste en cuanto a olores y problemas sanitarios. Lo importante es hacer respetar esta legislación, de manera de que el caso del sistema Oeste no se traslade al Este.

8.4.2.4. Fortalezas vs. Oportunidades

Se desarrolla a continuación las estrategias que pretenden maximizar Fortalezas y explotar Oportunidades.

			Fortalezas	
			Cobertura casi total de la población con servicio de cloacas	Correcta ubicación (SE)
			F1	F2
Oportunidades	Capacidad tecnica profesional local para el desarrollo de los proyectos.	O1	*	
	Existencia de líneas de financiamiento para las obras necesarias a ejecutar.	O2	*	
	Aparición de nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales.	O3		

Tabla 8-21. Matriz Fortalezas – Oportunidades Chajari.

F1 - O1 - O2

Ya se ha comentado que CAFESG, como organismo oficial, cuenta con la capacidad técnica y las líneas de financiamiento para obras en la ciudad.

Si bien la cobertura de servicios es casi total en Chajari, no se debe perder de vista continuar con este porcentaje en el futuro, mas aun teniendo en cuenta que el



suministro de agua potable es a través de pozos de bombeo y una contaminación de las napas por un mal tratamiento de las aguas residuales podría ser altamente peligroso para la población.

Para resumir, del análisis de esta estrategia, se menciona por parte de los firmantes de este estudio la necesidad de continuar con la ampliación de la red de cloacas a medida que la urbanización avance. En este momento se encuentra en una situación más que favorable, dado que la totalidad de la población se encuentra atendida, y los costos de dar servicio a toda la población serán solamente para la venidera.

Los autores creen que de esta manera se tienen los recursos (capacidad técnica y financiamiento), siendo lo que falta tomar la responsable decisión de seguir adelante para ampliaciones futuras de la ciudad, cuidando así el bienestar de todos los habitantes. De esta forma se potencian tanto las fortalezas como las oportunidades planteadas en la matriz.

8.4.3. Desarrollo de alternativas

El sistema de tratamientos de la ciudad de Chajari, por ser un sistema de lagunaje natural, siempre ha arrojado un saldo positivo para el municipio, en cuanto al costo de funcionamiento y el resultado del tratamiento que lleva adelante.

Por las características propias de esta ciudad, se vislumbra un crecimiento exponencial, producto del turismo y del crecimiento industrial, que dará lugar al debate futuro, en cuanto a la suficiencia o no de este tipo de sistemas en un plazo corto de crecimiento habitacional.

En la búsqueda de alternativas reales de ampliación o modificación de este sistema se propone incorporar procesos más sofisticados para la actualización de los sistemas de tratamiento.

8.4.3.1. Propuesta

Dada la existencia de un sistema de lagunas que posee poca antigüedad, se propone utilizar la infraestructura de estas, para desarrollar un proyecto de planta de tratamientos por lagunas aireadas, de iguales características al desarrollado por la ciudad de Gualeguaychu. De esta manera se prevé la utilización de las lagunas existentes, y su modificación, para realizar los procesos de aireación, anexando en el mismo predio aquellos procesos terciarios que permiten un mejor tratamiento del efluente.

8.4.3.2. Procesos elegidos

Basándose en la experiencia y el dimensionado de los procesos que componen la planta de tratamientos de la ciudad de Gualeguaychu, se estimaran las dimensiones necesarias para la construcción de las instalaciones de un sistema similar, adecuándolo para un crecimiento poblacional de la ciudad de Chajari de hasta 70.000

habitantes, que se estima aproximadamente en un 60% de la capacidad para que fuera dimensionada la planta de la ciudad de Gualeguaychu.

La elección de esta planta como modelo de propuesta, Figura 8-20, se debe principalmente, a la posibilidad de utilizar lo que hoy existe como laguna anaerobia en el sistema este de Chajari, para la construcción de las lagunas del nuevo proceso. La utilización de esta infraestructura, es adecuada en cuanto a su ubicación respecto del ejido urbano, sus cotas de fundación, que favorecen la descarga de la red cloacal a ese punto.



Figura 8-20. Esquema de procesos llevado a cabo en el proyecto de planta.

Como infraestructura, presenta características aptas para su reacomodamiento; posee la profundidad adecuada, la construcción de sus taludes es la correcta para este tipo de lagunas aireadas y la cercanía a la descarga hacia el arroyo, resultan determinantes.

8.4.3.3. Ingreso del efluente

El ingreso del efluente se realizaría de tres formas distintas como se indica en la Figura 8-21, a saber:

- *Estación de bombeo Este:* se plantea utilizar el sistema de bombeo que funciona hoy como sistema de ingreso único a las lagunas del sistema este.
- *Estación de bombeo Oeste:* proviene de la cañería impulsión que envía el efluente desde el sistema de lagunas oeste, hacia el este. Cabe destacar que se propone la impermeabilización a través de la colocación de geomembrana de la

laguna anaerobia oeste, para que funcione de reservorio del nuevo sistema de bombeo.

- *P.T.R.S.U.:* Se propone que esta nueva planta reciba también los efluentes del lixiviado del tratamiento de los residuos sólidos, cuya planta está en terrenos linderos al del sistema de lagunaje existente. Su ingreso se realizaría a través de la estación de bombeo Este.



Figura 8-21. Esquema de proyección del ingreso del efluente a la nueva planta.

8.4.3.3.1. Cámara de byPass

El efluente será recibido por una cámara de bypass que se ubicaría como único ingreso del efluente sobre uno de los laterales del predio existente. La importancia de esta cámara radica en la posibilidad de desviar el ingreso del efluente, y su recirculación crudo al arroyo, caso extremo que se daría en el caso de un fuera de servicio de la planta.

8.4.3.4. Tratamiento Primario

Este tipo de tratamientos incluye aquellas operaciones físicas de depuración primaria del efluente.

8.4.3.4.1. Cámara de reja

La cámara de rejas tendrá como uso principal la separación de la fracción más grande de los sólidos que contiene el efluente, Figura 8-22. Se llevara adelante mediante un sistema de rejas de acero inoxidable, de limpieza mecánica, que pueden trabajar alternadamente mediante un bypass del sistema. Los residuos extraídos son retirados mediante canastos de recolección, y serán enviados a las playas de secado de la planta de tratamiento de residuos sólidos, que la municipalidad posee en un predio lidoero a la ubicación de la planta.

La cámara de rejas tendrá la capacidad de tratar un caudal de efluente de hasta 900 m³/h, y cuenta además con una cámara aquietadora de fluido, donde el efluente ingresa y se estabiliza para comenzar a circular por los distintos procesos.

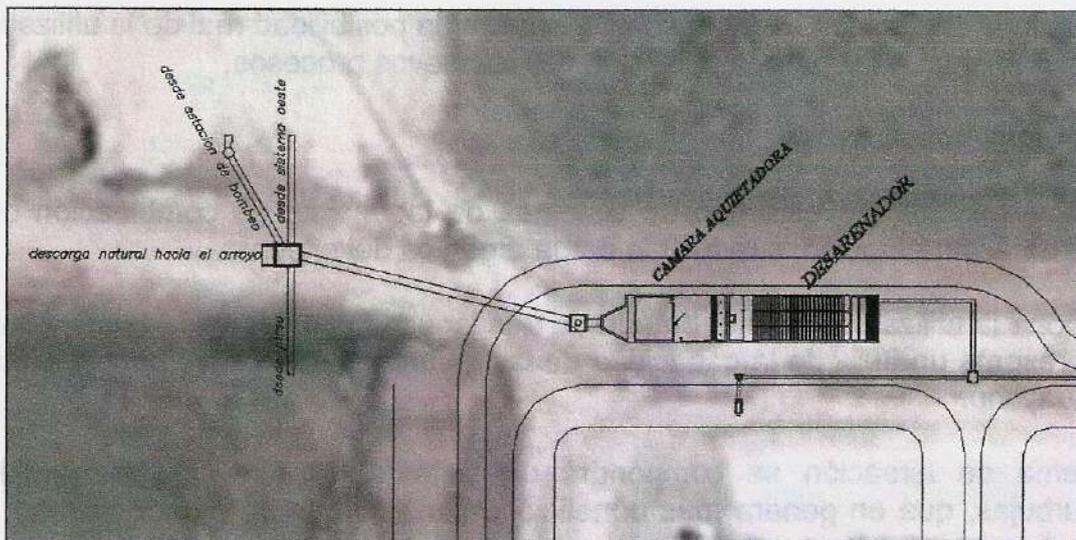


Figura 8-22. Cámara bypass, Cámara quietadora y Desarenador.

La ubicación de esta cámara, se proyecta sobre uno de los taludes existentes, ya que por las características físicas y dimensiones que posee puede albergar esta instalación sin inconvenientes. La principal ventaja de su ubicación, radica en que el efluente podrá llegar hasta aquí desde las estaciones de bombeo y una vez alcanzada la cámara quietadora podrá circular por gravedad hacia el sistema de lagunas de aireación y continuar el proceso por movimiento propio.

8.4.3.4.2. Desarenador

El desarenador es la instalación física donde el efluente pierde aproximadamente el 50% de los sólidos en suspensión que posee. Es un proceso en el cual las partículas inorgánicas de más de 0,2 mm se depositan en el fondo por gravedad, mediante a circulación lenta del efluente por una cámara de hormigón cuyo profundidad es variable. En general el residuo obtenido es un conjunto de grava, arenas, y partículas minerales que podrán ser tratadas en las playas de secado destinadas a tal fin.

Este proceso se lleva a cabo en una cámara contigua a la cámara de rejillas, por lo que constituyen una misma instalación física.

8.4.3.5. Tratamiento Secundario

Incluye aquellos procesos biológicos para la estabilización de la materia orgánica contenida en el efluente.

Cabe aclarar que el dimensionado de las instalaciones físicas para este tipo de procesos, está íntimamente vinculado a las características del efluente, por lo que su diseño tiene más que ver con los resultados de los análisis del efluente crudo que con la proyección poblacional. No es objetivo de esta propuesta de alternativas para la ciudad de Chajari, la realización de un anteproyecto de planta, si no simplemente citar aquellos procesos que se consideran factibles utilizar, según la experiencia obtenida de



la planta de la ciudad de Gualeguaychu, y analizar la posibilidad real de la utilización de las estructuras actuales para la ubicación de los nuevos procesos.

8.4.3.5.1. Lagunas aireadas

El objetivo principal de este tipo de sistemas de lagunajes, en combinación con las lagunas de sedimentación, es reducir la carga orgánica del efluente.

Se propone la utilización de una batería de dos lagunas con capacidad para 28800m³, que representa un 60% de la capacidad de las lagunas proyectadas para la ciudad de Gualeguaychu.

El sistema de aireación se compondrá un sistema de aireación sumergido por microburbujas, que en general es más beneficioso en lagunas de menor tamaño, como las que se proyectan para este caso. La elección del sistema de aireación radica en la experiencia adquirida en visitas de campo, donde se pudo observar que el sistema de aireadores superficiales de la ciudad de Gualeguaychu presenta más inconvenientes para su implementación y mantenimiento que el sistema de microburbujas utilizado en Federación, que presenta menores costos de funcionamiento y mantenimiento.

Las lagunas presentan una superficie de 4050 m², y sus dimensiones son de 50m de ancho por 90m largo, y 3,5 m de profundidad cada una, lo que ocupa parte de los 18000 m² disponibles en el actual estanque anaerobio del sistema Este, donde se propone proyectar el nuevo sistema, Figura 8-23.

Para la utilización de la infraestructura existente se plantea la construcción de los taludes faltantes, Figura 8-24, para la división de lagunas y la impermeabilización de las mismas con geomembrana textil, de 3mm de espesor, para evitar el paso del efluente cloacal hacia las napas subterráneas.

Desde las lagunas aireadas, el efluente fluye por tirante constante, a través de cámaras de interconexión hacia las lagunas de sedimentación.

8.4.3.5.2. Lagunas de sedimentación.

El efluente producto del tratamiento de las lagunas de aireación, son conducidos por las cámaras de conexión hacia las lagunas de sedimentación, que posee 70 mts. de largo, 50 mts. de ancho y 3,5 mts. de profundidad, Figura 8-25, confiriéndole una superficie de 3500m².

FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
MONUMENTO HISTÓRICO NACIONAL
TEL./FAX: (03442) 425541 / 423803
Ing. PEREYRA 678 - EX206BTD - CONCEPCIÓN DEL URUGUAY
ENTRE RÍOS - REP. ARGENTINA

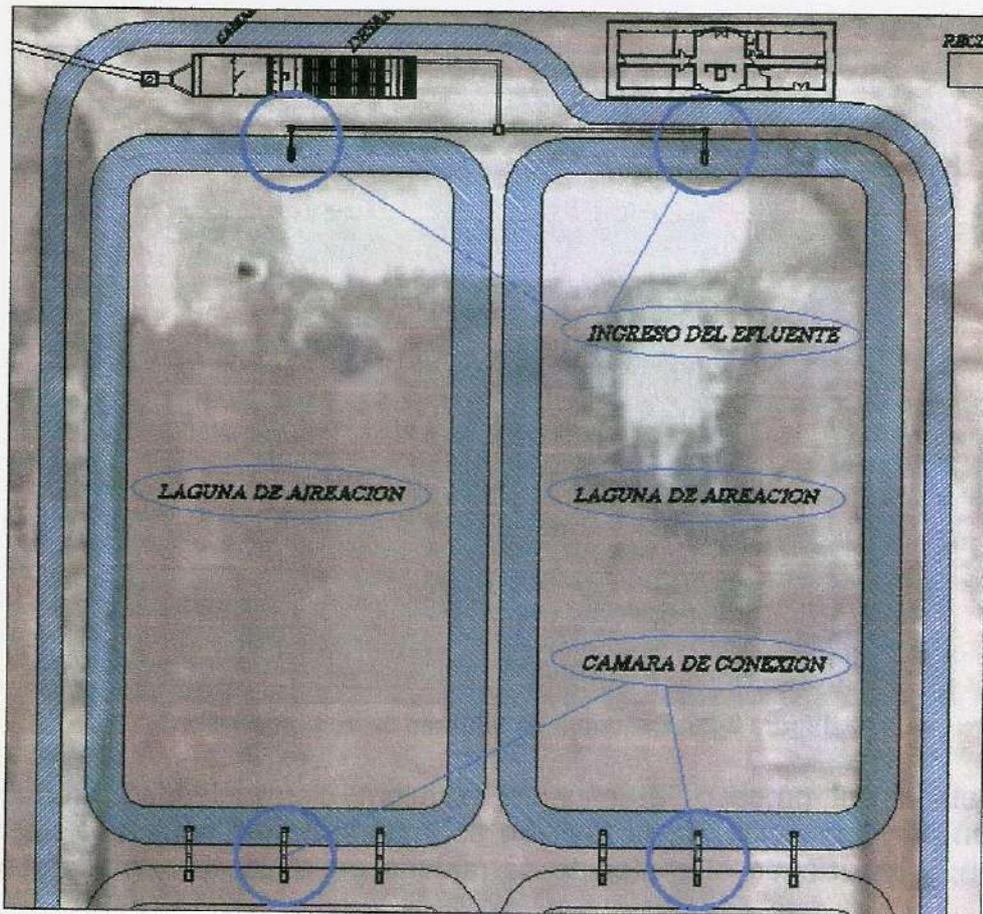


Figura 8-23. Esquema de lagunas aireadas.

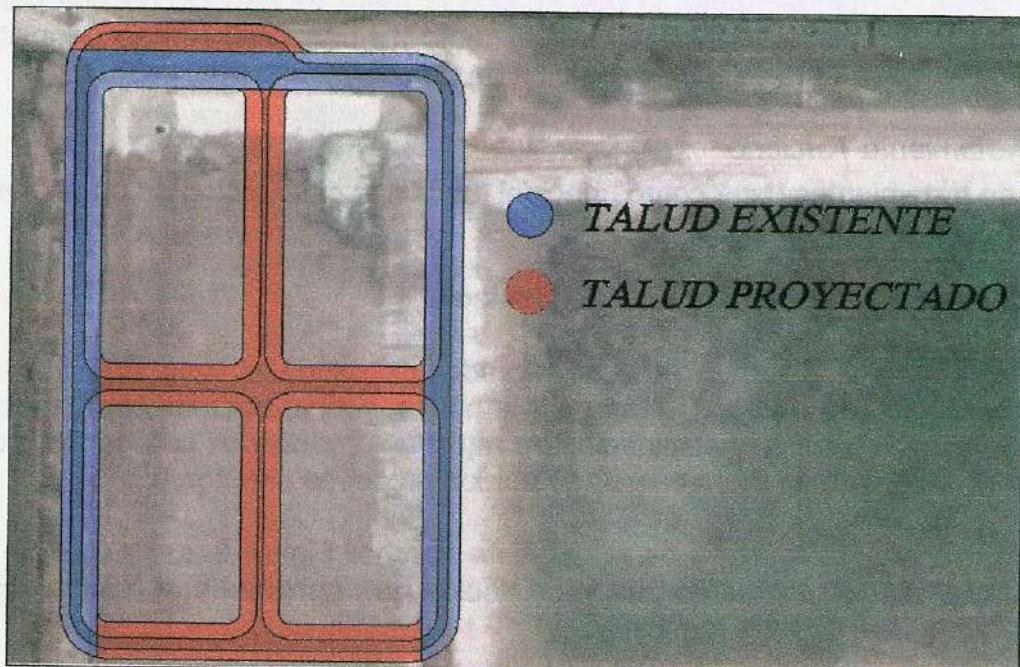


Figura 8-24. Reacondicionamiento de taludes para proyecto de planta.

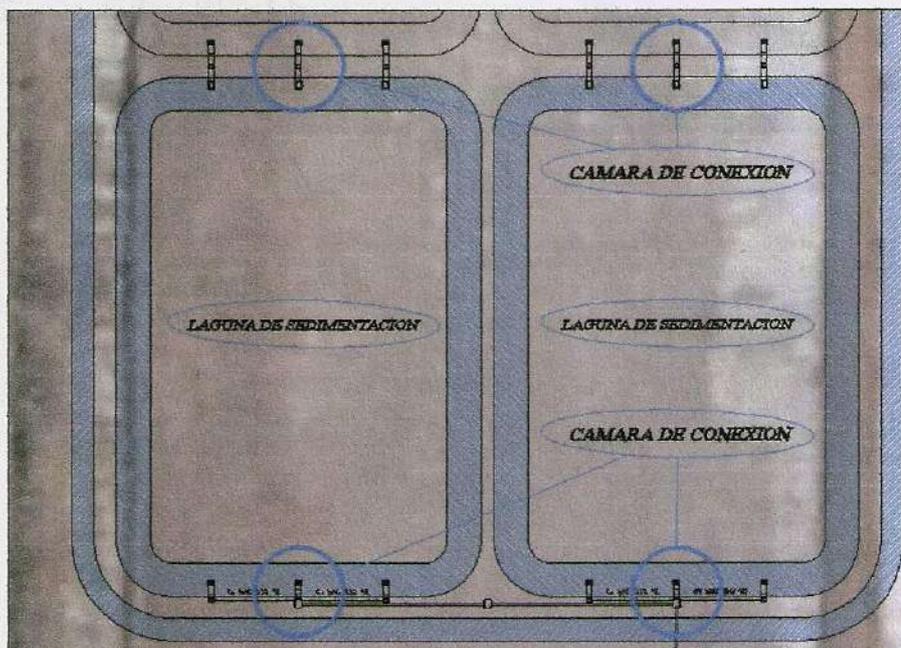


Figura 8-25. Esquema de lagunas de sedimentación.

En esta etapa del proceso, el efluente adquiere cierta claridad producto de la disminución por deposición, de la fracción as importante del contenido del sólido en suspensión, y reduciendo el contenido de materia organica aproximadamente en un 50%.

Los sólidos sedimentados como barros estabilizados, se pueden retirar por bombeo mediante balsa, o manualmente, lo que implica el fuera de servicio de una batería de lagunas para su limpieza, al menos bianualmente. El barro retirado se depositaria en las playas de secado para su transformación en un compuesto más estable.

8.4.3.6. Tratamiento Terciario

Este tipo de tratamientos tiene como principal función la eliminación de organismos patógenos.

8.4.3.6.1. Canaleta Parshall y Cámara de Contacto

La canaleta Parshall, Figura 3-14 es un aforador de caudales, que se utiliza para el control del volumen de efluente tratado por la planta, y sirve además como mecanismo de inyección de cloro para la eliminación de aquellos organismos patógenos presentes en e efluente final, que no fuera eliminado por los procesos anteriores.

El efluente que circula a través de la canaleta parshall, Figura 8-26 , adquiere cloro a través de su inyección mediante una vena liquida que aprovecha el resalto producido en la estructura para generar la mezcla.

Una vez adicionado el cloro en el efluente, ingresa a la cámara de contacto, Figura 8-26. La función de esta es dar la suficiente permanencia del efluente en el sistema

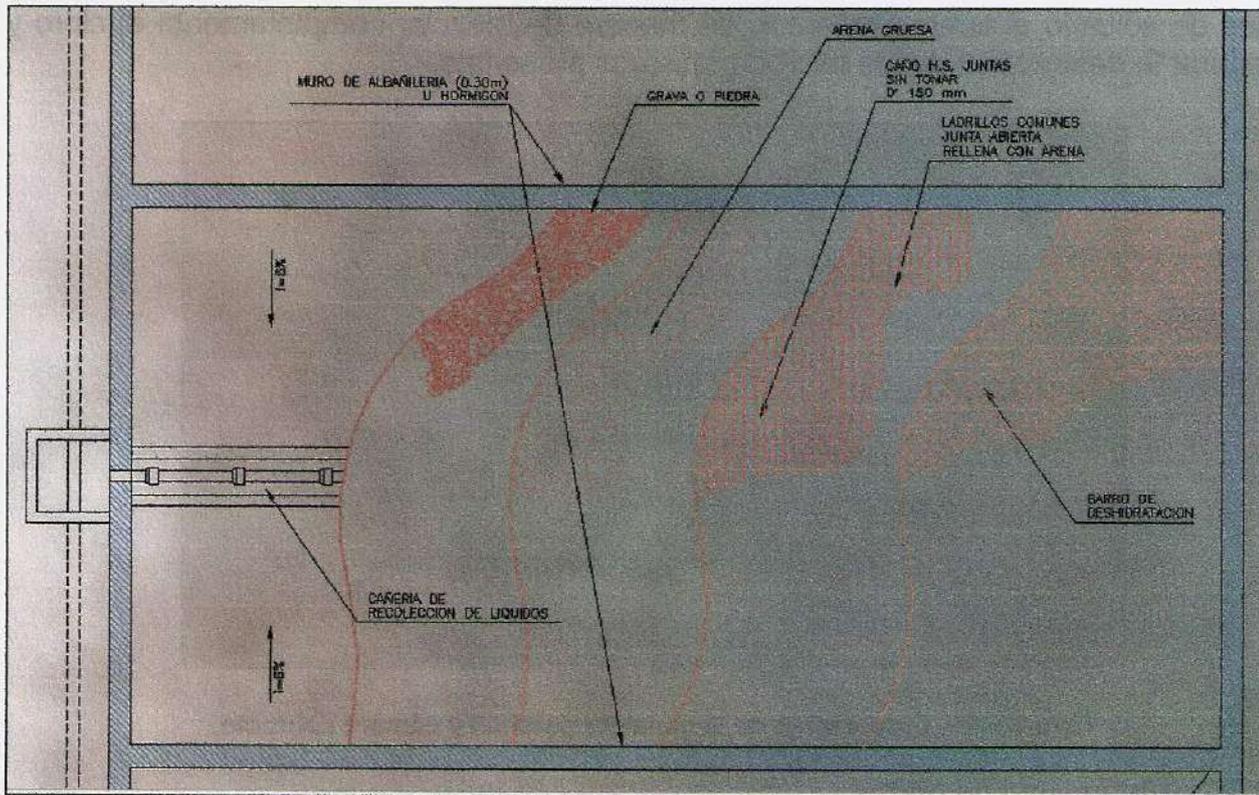


Figura 8-28. Composición de las playas de secado.



antes de volcarlo al cuerpo receptor, de manera de mezclar completamente el cloro y asegurar la destrucción de los microorganismos presentes.

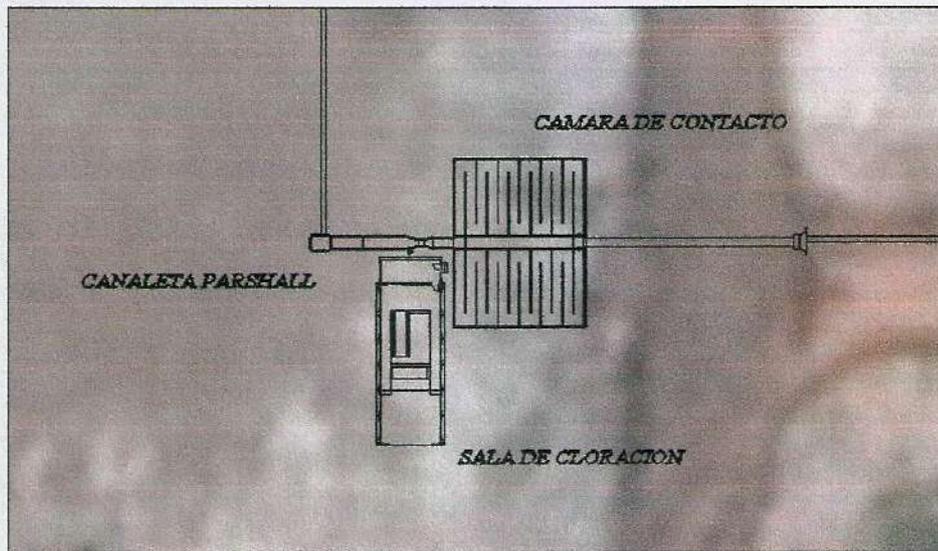


Figura 8-26. Disposición de la canaleta parshall y cámara contacto,

8.4.3.7. Tratamiento de barros

Se proyecta la construcción de un sistema de playas de secado de barros, Figura 8-27, para el tratamiento de los sedimentos retirados en los distintos procesos de la planta, especialmente en el sedimento de las lagunas de sedimentación.

En este tipo de instalación, se transforma el barro en un compost más complejo y estable que puede utilizarse como abono para plantaciones. Los procesos llevados a cabo para la estabilización, se producen a través de la acción de los rayos ultravioletas y de la separación de la fracción sólida de la líquida, como ya fue explicado en el apartado 5.3.1.7.

Las playas se componen como se observa en la Figura 8-28Figura 8-27, de estanques de hormigón armado, rectangulares, formadas por un lecho de grava, arena y una terminación en ladrillos comunes, asegurando así la correcta penetración del sol y el escurrimiento de la parte líquida, que se recircula a las piletas de aireación para tratarlas nuevamente.

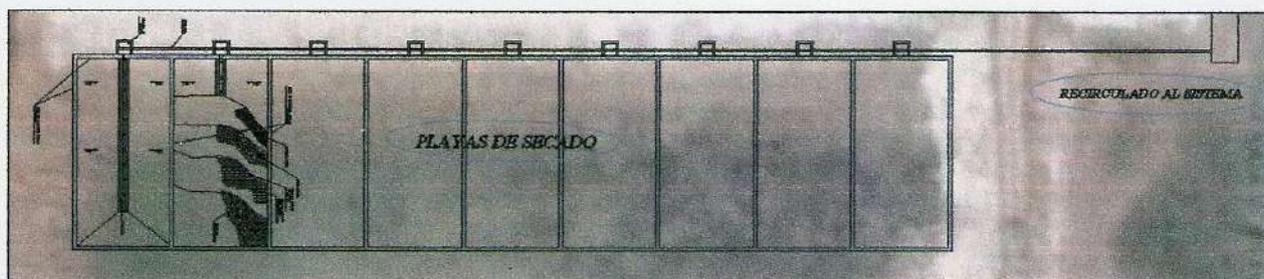


Figura 8-27. Playas de secado de barros.



Capítulo 9. Conclusiones

Los cuatro sistemas de tratamiento de aguas residuales estudiados, como existe una diferencia común entre ellos, se pueden separar en dos grupos.

En el grupo uno se ubican los sistemas de Gualaguaychú y Federación que son tecnológicamente más sofisticados, para su funcionamiento requieren de una estructura electromecánica importante que condiciona su funcionamiento y de personal estable y especializado.

En el grupo dos podemos agrupar a los restantes de Chajari y Colon que son sistemas de lagunas de estabilización y realizan la transformación del efluente a través de procesos naturales que no necesitan de elementos electromecánicos para funcionar, lo que los hace económicamente atractivos para este tipo de localidades.

Los sistemas del grupo uno se diferencian del restante porque si bien presentan fallas y problemas de mantenimiento, se obtiene efluentes de mejor calidad a través de tratamientos que cubren la totalidad de los procesos existentes, incluso los terciarios.

Existe en los municipios que los controlan una preocupación por intentar que las plantas cumplan de la manera más eficiente con su función. Las limitaciones se encuentran en los escasos recursos económicos con los que disponen. Sin embargo, existe la cantidad necesaria de personal, la capacidad y formación de los mismos, un equilibrado mantenimiento (más allá de los bajos recursos mencionados) y la realización de las reparaciones pertinentes del equipamiento en tiempo y forma para que la planta no cese en su funcionamiento.

En el grupo dos en cambio, existe cierto abuso sobre la capacidad de los sistemas de lagunaje de funcionar con escaso mantenimiento, al punto en el que la falta del mismo ha ido deteriorando los sistemas hasta producir un efluente mal tratado de mala calidad (no cumple con los estándares). Se denota un total desconocimiento de las técnicas usuales para esta clase de tratamientos.

En Colon, en muchos casos se pone en juego la salubridad pública, primer factor a cuidar en cualquier sistema de tratamiento. No se realiza ninguna clase de mantenimiento preventivo, efectuando las remediaciones necesarias solo en casos extremos.

Vale aclarar de que a simple vista las matrices planteadas FODA, que establecen un parámetro cualitativo de las plantas, presentan una cierta similitud en tamaño o cantidades de factores analizados que no refleja lo mencionado anteriormente. Sin embargo, de la lectura y comprensión del desarrollo de las Estrategias de mejora, surge que en los sistemas del grupo uno se plantean soluciones de mejora sobre lo ya existente buscando corregir deficiencias que pueden ser solucionadas con tratamientos económicos que se complementan con los existentes.

Distinto es el caso del grupo dos donde las estrategias planteadas están pensadas en busca de dar solución a problemas más de fondo e incluir técnicas más sofisticadas



para el tratamiento del efluente, como procesos terciarios. Esto se debe a la imposibilidad de encontrar soluciones razonables, económicas y técnicas, sin evadir normas claves de convivencia con el medio.

En el análisis global de los sistemas implementados en la costa del Río Uruguay de la Provincia de Entre Ríos se puede observar, a través de las sucesivas visitas a las plantas de tratamiento, un concepto poco claro a la hora del diseño e implantación.

En todos los casos se intenta tratar las aguas residuales perdiéndose de vista lo global que rodea al problema. Se dan soluciones a problemas específicos, sin tener en cuenta que dichas soluciones afectaran otros factores intervinientes en el medio.

Es decir, se busca solucionar la problemática de las aguas residuales urbanas, pero no se analizan cuestiones tales como:

- Desarrollo urbano.
- Prevención a la salud de pobladores cercanos.
- Análisis de la afectación en el confort de vida de los vecinos.
- Análisis de desarrollo urbano futuro.
- Falta de ordenanzas efectivas para prohibir el asentamiento de personas en el área de influencia de la planta.
- Estudios de impacto ambiental.
- Monitoreo de la capacidad de depuración de los cursos receptores.
- Contaminación de las napas.
- Cuidado de los cuerpos receptores.
- Etc.

Se deberían tener presentes todos estos factores a la hora de analizar el funcionamiento de las plantas de tratamiento.

En contraposición, esto deriva en quejas, malestar y un mal manejo del medioambiente que inevitablemente redundará en operaciones de remediación costosas en el futuro, se podrían evitar fácilmente con una visión integral de la situación y el trabajo de un grupo interdisciplinario.

Durante la concreción de este trabajo de investigación se pudo observar que la población de las distintas localidades de estudio tiene un importante compromiso con el cuidado de medioambiente, ya sea por su participación en asambleas medioambientales, como por la lucha frente a las escasas políticas del tema.

Es el momento adecuado para que la clase política se comprometa ampliamente con las comunidades para ayudar a concientizar y formar futuras generaciones que acepten en su vida cotidiana normas de cuidado ambiental para mejorar el ambiente y los recursos que utilizan.



9.1. Conclusiones Gualeguaychú

El sistema de tratamiento de Gualeguaychú está presentado por dos baterías de lagunas con aireación forzada.

Haciendo un análisis general, la planta funciona de manera correcta, entregando un efluente de calidad en casi todos sus parámetros.

Sin embargo cuenta con algunas fallas. Entre las más importantes se pueden nombrar: la falta de algunas instalaciones y tratamientos, el elevado consumo eléctrico de la planta y el elevado costo de mantenimiento del equipo electromecánico. Todos estos factores nombrados tienen una propuesta de solución a través de las estrategias desarrolladas a partir del análisis FODA.

No así con el mantenimiento del equipamiento electromecánico. La asiduidad con que se rompen los mismos es un problema difícil de remediar, pensando en una solución económica y técnicamente factible de aplicar. En este sentido vale aclarar que la rotura reiterativa de estos equipos se debe a la mala calidad de los mismos lo que se ve incrementado por el hecho del elevado consumo eléctrico en la planta. Se hacen trabajar una menor cantidad de aireadores de los necesarios, produciéndose un trabajo sobreforzado del equipo de aireación. Para este problema específico se obtiene solución a través de la aplicación de una pequeña planta de Biogás, como la surgida del análisis FODA, que generaría energía a costos bajísimos y permitiría hacer trabajar así la totalidad de equipamiento electromecánico necesario para un funcionamiento correcto.

Haciendo un análisis de los ensayos de calidad de agua y lo rescatado de las visitas realizadas a la planta, se puede determinar lo siguiente.

9.1.1. Análisis de DBO_5

Los valores de DBO entrante (crudo) tienden a cumplir con los valores máximos estipulados por la norma. De esta manera se puede asegurar que los afluentes llegados para el tratamiento a la planta corresponden a aguas residuales domésticas.

En cuanto a los valores de DBO_5 en la salida de la planta se puede observar una tendencia a cumplir con lo marcado por la norma vigente. Del análisis de los ensayos en las lagunas intermedias, a la salida de la laguna 1, se puede apreciar una correcta eficiencia de las lagunas aireadas, pese a los problemas ya mencionados en los sistemas de aireación. Hay que tener en cuenta que cada una de las lagunas cuenta con 11 aireadores, con lo que para valores normales del agua residual solamente son necesarios ocupar una cantidad menor. En este sentido, la problemática es tener en buenas condiciones los aireadores cuya disposición en planta aseguran la correcta distribución del aire inyectado.

Los valores de remoción en la laguna de sedimentación son menores. Esto se debe que desde la puesta en marcha de la planta, no se han realizado los trabajos de



remoción de sólidos de las piletas. Esto presenta menores tiempos de retención en las lagunas, lo que deriva en una baja capacidad de precipitación en las mismas.

De igual manera, la planta presenta una eficiencia global cercana al 90%, lo que es correcto para esta clase de tratamientos. Esta eficiencia se corresponde con lo verificado visualmente in situ en las distintas visitas y lo que marca la bibliografía al respecto.

9.1.2. Sólidos Sedimentables

Los sólidos sedimentables presentan una tendencia a cumplir con los valores delimitados por la norma. Es más, en muchos de los ensayos realizados en la planta, se puede inferir una tendencia a valores bastantes más bajos que los límites impuestos. Sin duda, esto es más que beneficioso para la operatividad de la planta.

Se puede observar también algo extraño en el funcionamiento general de la planta. De las estadísticas de los ensayos se puede apreciar una tendencia a un ingreso superior de sólidos sedimentables en la laguna 2 con respecto a la laguna 1. Esto se puede deber a que el agua residual tiene un recorrido bastante mayor para llegar a la laguna 1. Esto lleva a pensar a que se pueda dar una precipitación de material en suspensión en la cañería de transporte, lo que hace disminuir la carga sedimentaria al entrar en las lagunas.

También se pueden apreciar altos valores, pero los mismos son aislados y en minoría. En este sentido, se podría pensar que durante dichos ensayos los caudales eran superiores a los normales. Esto aumenta las velocidades en la cañería de transporte y por lo tanto la capacidad de transporte de sedimentos del flujo.

Los valores finales de sólidos sedimentables muestran una tendencia a cumplir con los valores que fija la norma. Esto se contradice con la crítica que se hizo en cuanto a la falta de limpieza de las lagunas de sedimentación desde su puesta en funcionamiento. Pero también se ha comentado que los valores de sólidos sedimentables del crudo se encuentran bastante por debajo de la norma, lo que ayuda a que pese a la colmatación de las lagunas, el sistema siga respondiendo de manera correcta.

9.1.3. Análisis de Coliformes Fecales

Los valores de coliformes final están muy por arriba de lo fijado por la norma. Esta tendencia era totalmente esperable a partir de la comprobación, en las visitas, de que el sistema de desinfección se encontraba fuera de servicio.

Las falencias por las cuales el sistema de desinfección no es utilizado son de fácil solución. Hay que tener en cuenta que los valores finales que arroja la planta, teniendo en cuenta DBO_5 y sólidos sedimentables, son buenos. Por el contrario los coliformes son sin duda de los factores que mayoritariamente afectan el ecosistema además de ser transmisores de una gran cantidad de virus y enfermedades. Por este motivo se hace hincapié en la necesidad urgente de la puesta en marcha del sistema de cloración.



9.2. Conclusiones Colon

La ciudad de Colon está entre las cinco ciudades más importantes de desarrollo turístico dentro de la provincia. Su atractivo más importante sin duda son las playas y el contacto con la naturaleza. Por este motivo el tratamiento de los efluentes cloacales debería ser de interés primario para el municipio. Hasta el momento de la realización de este trabajo de investigación, las autoridades que han pasado por los cargos ejecutivos no se han preocupado por el estado del medioambiente de la región, y esto es reflejado en el estado de los sistemas de tratamientos de los efluentes cloacales.

El sistema elegido por la ciudad de Colon es un sistema de lagunajes, o lagunas de estabilización, que se presentan como un sistema económicamente apto para aplicar en ciudades pequeñas, y que producen un efluente tratado de características aptas para cumplir la normativa, con un mantenimiento mínimo.

A partir del momento de implementación del sistema, las políticas municipales de conservación han ido desapareciendo hasta la actualidad, donde se encuentra el sistema en un estado de deterioro absoluto, que no garantiza el mínimo tratamiento del efluente. Esto adquiere mayor gravedad dado que el cuerpo receptor del mismo, es el arroyo La Leche, que tiene su vertido en el punto geográfico de cierre de playas habilitadas, que año tras año son colmadas de turistas.

Esto produce que en época de sudestada el efluente cloacal se mantenga en la zona de playas, propagando la presencia de olores, aguas turbias y el latente problema de la posibilidad de enfermedades infecciosas. Cabe señalar además que el paso por sobre el arroyo La Leche es de interés turístico, ya que el puente sobre él, conecta la ciudad con el sur de la misma donde se están desarrollando importantes emprendimientos turísticos y es un punto de expansión de la urbanización.

Los problemas de mantenimiento son los principales observados, ya que como se dijo anteriormente, se alcanza un punto de no retorno en cuanto a su funcionamiento, por lo que la única posibilidad de reutilización es detener su funcionamiento y reestructurar todo el sistema.

Las lagunas se encuentran excedidas de sedimentos y a pesar de encontrarse limitadas en su poder de transformación, el efluente sigue ingresando, aun cuando se ha observado la rotura de taludes que dejaban escapar el efluente rudo hacia el arroyo. Es común encontrar camiones sépticos descargando en la cañería de ingreso de las lagunas, lo que de alguna manera sobre exige al sistema, sacándolo de servicio, y la población suele tirar residuos sólidos en los taludes y en el interior de los estanques.

La ubicación de las lagunas es uno de los problemas más importantes después de los de mantenimiento y responde a una débil política por parte del municipio respecto del medioambiente y su relación con la urbanización; la falta de compromiso y seriedad respecto del desmedido aumento de asentamientos autorizados por el municipio en la zona de planta, potencian la peligrosidad del estado de las lagunas ya que el predio no está delimitado y es común encontrar peatones por los taludes de las lagunas. La falta de personal estable para el mantenimiento, encrudece el problema ya que tampoco se cuenta con personal que velen por la seguridad de los barrios adyacentes. Es normal



que los vecinos de barrios linderos se quejen por la gran presencia de olores que deterioran su calidad vida, exponiéndolos a problemas de salud.

El deterioro de los taludes de las lagunas es el principal problema de infraestructura que se advierte en el sistema, y se puede encontrar en estos, arbustos de gran tamaño, que denotan la falta de mantenimiento del perímetro, respecto de una tarea tan esencial como es el corte de pastos y el retiro de malezas.

Sin dudas esto denota la falta de conciencia y preocupación medioambiental por parte del municipio, que no tiene ningún plan de mantenimiento ni proyecto de reubicación o restitución de la planta de tratamientos. Por estos motivos, se plantea como alternativa de solución a los problemas mencionados en el análisis FODA la construcción de un sistema de tratamientos nuevo, que este acorde a la importancia de la ciudad, solucionando el problema de contaminación, y mejorando la imagen de la ciudad en cuanto a la conciencia medioambiental, que no tiene que ver con la acción de sus pobladores sino mas bien con la de sus gobernantes.

9.2.1. Análisis de DBO₅

Los problemas de mantenimiento que se observan, principalmente aquellos referidos a los avanzados procesos de eutrofización y las malezas presentes, que alteran la esencia de los procesos elegidos, se condicen con los resultados obtenidos en los análisis de DBO₅.

En una primera instancia se ve que el efluente crudo tiene parámetros típicos de todo efluente domiciliario a pesar de no cumplimentar con la limitación a colectora impuesta por la ley.

En una segunda instancia se ve que los valores finales obtenidos tienen tendencia a incumplir la normativa vigente; cotejándolo con el análisis operacional se lo atribuye a la falta de tiempo de retención que posee el sistema, ya que el tirante líquido de las mismas se encuentra disminuido debido a la acumulación de sedimentos, y la existencia de plantas acuáticas que invierte el sentido del proceso y aquellas causas de mantenimiento que se observaron en el capítulo FODA, como la inexistencia de una cámara de rejas para la retención de los sólidos más importantes.

9.2.2. Análisis de Sólidos Sedimentables

El contenido de sólidos sedimentables del efluente crudo, presenta parámetros elevados para un efluente de tipo domiciliario. A través de los procesos que se llevan a cabo en las lagunas, los valores obtenidos están por encima de los límites permitidos por la normativa pero con gran dispersión; la disparidad, y la incongruencia de resultados se puede atribuir al problema de acceso en la toma muestras producto debido a la falta de mantenimiento de los taludes del sistema de lagunajes.



9.2.3. *Análisis de Coliformes Fecales*

El análisis del contenido de Coliformes Fecales da como resultado el incumplimiento de acuerdo con los estatutos vigentes para el uso del recurso, el cual es para este caso, uso recreativo en contacto directo. Este incumplimiento se debe principalmente a la falta de un tratamiento terciario, y cabe mencionar que no es característico de este tipo de sistemas la disminución de este parámetro.

9.3. **Conclusiones Federación**

Al momento de culminarse los estudios de campo en el sistema de tratamiento de Federación, se aprontaban los trabajos de remodelación de la planta. Estos trabajos de remodelación se encuentran finalizados en la actualidad.

No se realizaron ensayos con las nuevas instalaciones de la planta funcionando, dado que se había terminado el proceso de búsqueda de la información de campo. De igual manera, los mayores inconvenientes que presentaba la planta era que había llegado al límite de su capacidad de tratamiento, trabajando durante mucho tiempo con las instalaciones totalmente ahogadas.

Sobre la Planta de Tratamiento de Efluentes Cloacales existente se planteó un Proyecto Integral de Remodelación y Ampliación de su capacidad de depuración.

Este Proyecto Integral incluye tanto la construcción de un Nuevo Módulo de Tratamiento completo, como así también la refuncionalización y remodelación de las instalaciones existentes.

A través del análisis FODA se ha realizado un seguimiento y comparación entre los trabajos que se llevaron a cabo en la planta durante su remodelación, y todas aquellas medidas que, surgido de las distintas visitas, se debían llevar a cabo (según el criterio de los que suscriben este trabajo). De dicho análisis se determinó que la gran mayoría de inconvenientes con los que contaba la planta estaban atendidos con las remediaciones ejecutadas.

De ese mismo análisis, se llegó a la conclusión de que los estudios faltantes correspondían, en general, con aquellos que relacionaban a la planta y el medio que la rodea.

Un ejemplo de ello son los olores. El mayor detalle a prestar atención está en la ubicación de residencias en sus alrededores. Si bien ya existe una considerable cantidad de casas, se pudo observar un continuo aumento de loteos residenciales en terrenos muy cercanos a la planta de tratamientos. Hay que decir también, la planta se encuentra correctamente delimitada y cuenta con una barrera de árboles en un sector importante del perímetro. Se debería estudiar qué sucede con los olores en la planta a partir del funcionamiento de esta con sus refacciones.

A su vez, el municipio debería tomar medidas, informando a los propietarios o actuales y futuros de los terrenos. Hay que tener en cuenta que una vez que la gente se asienta



y se encuentra con los olores periódicos en el ambiente, comienzan las entendidas protestas y pedido de medidas concretas al municipio. Es preferible encarar el problema preventivamente, mas aun teniendo en cuenta que se está a tiempo.

9.3.1. Análisis de DBO_5

Los valores de DBO_5 en el agua residual afluyente a la planta de tratamiento son altos. Se podría considerar que aun con dichos valores el liquido entra dentro del rango aceptable, pero encontrándose en el limite de este.

Esta tendencia puede estar marcando el volcado de aguas residuales que no son de origen domestico a la red cloacal. Otra posibilidad, verificada en las visitas a la planta, es que este valor elevado de DBO_5 está dado por el repetitivo vuelco de camiones atmosféricos en la entrada del liquido a la planta.

Se debe tener en cuenta que la carga orgánica de estas aguas residuales es mucho más concentrada que la que se da en las aguas que se trasladan por la red cloacal. Este problema estaría solucionado con la implantación de una nueva estructura para la descarga de los camiones, que permiten un tratamiento más diferenciado de dicho liquido.

En caso de comprobarse los altos valores de DBO_5 aun con la implantación de este mecanismo, la hipótesis planteada en primera medida cobra aun más fuerza (vuelco de aguas residuales no domesticas en la red cloacal).

En cuanto a los valores de DBO_5 final hay que decir que presentan una tendencia a estar al límite, pero por debajo de los valores estipulados en la ley. Este hecho era totalmente esperable, ya que la planta estaba trabajando totalmente ahogada.

Con la ampliación de las instalaciones, y sobre todo con el cambio de los sistemas de aireación, que le darán una eficiencia mucho mayor a las piletas, el agua residual deberá tener valores acordes de DBO_5 . Más aun si se piensa que con la incorporación de la estructura para la descarga y tratamiento de los camiones atmosféricos, los valores de DBO_5 entrantes serán menores que los actuales.

Esto haría que la eficiencia global de la planta se asemeje a la ideal, que está alrededor del 95% para la remoción de DBO_5 .

9.3.2. Análisis de Sólidos Sedimentables

Los valores de sólidos sedimentables del afluyente crudo a la planta tienden a cumplir con los valores especificados en la norma. Sin embargo, se puede observar una clara alza de los mismos en meses de período de vacaciones. Esta tendencia es acorde con el progresivo aumento de los caudales afluentes por la llegada masiva de turistas, que van de la mano con el crecimiento turístico de la población de Federación en los últimos tiempos.



La misma tendencia explicada para el agua residual afluyente se refleja en la capacidad de remoción de la planta a través de los valores finales de sólidos sedimentables.

La lógica tiene su explicación en el aumento progresivo de los caudales tratados en la planta, teniendo su pico en añosos meses ya mencionados. Con estos caudales, que superan la capacidad de la planta, hace que se pierda eficiencia en los dispositivos que tienen como función de la remoción de estos sedimentos, tales como los desarenadores y decantadores. Esta pérdida de eficiencia fue claramente verificada a través de las visitas.

Con la incorporación de los nuevos sistemas, construcción de nuevo desarenador y un decantador adicional al existente, la planta debería de responder sobradamente a las exigencias que el agua residual afluyente le impone.

9.3.3. Análisis de Coliformes Fecales

los ensayos efectuados muestran que la planta responde de muy mala manera a la exigencia de la remoción de coliformes.

Los valores finales del efluente no responden a lo impuesto en la norma. Esta tendencia es lógica, ya que a través de las visitas a la planta se vió que la cámara de contacto se encontraba totalmente colapsada por el caudal tratado.

Con lo cual, este resultado afirma la concreción de una remodelación de la cámara de contacto, tal como la realizada en la tareas de refacción general de la planta.

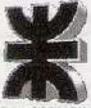
9.4. Conclusiones Chajari

Como ya se ha mencionado, el sistema de tratamiento elegido por Chajari para sus aguas residuales son sistemas de lagunaje.

Los sistemas de lagunajes, presentan la ventaja principal sobre otros sistemas al permitir obtener buenos resultados de calidad de efluente con un programa de mantenimiento exiguo, que cumplan con la norma, minimizando los gastos de funcionamiento.

El problema radica en que se confunde el concepto de mantenimiento mínimo, con mantenimiento nulo, y los gobernantes que han transcurrido por los principales cargos en la región, no han cambiado el destino de este concepto, cayendo en el deterioro absoluto de los sistemas.

Es de destacar que las autoridades a cargo de la intendencia desde el periodo 2003, han iniciado una política de cambio medioambiental en la ciudad, poniendo en funcionamiento la Planta de tratamientos de residuos sólidos en junio del 2003, cerrando el basurero cielo abierto. Con esto se abriría una puerta para el cambio de la metodología de pensamiento explicada antes.



Un problema fundamental y común a ambos sistemas es la presencia de una única batería de lagunas. La metodología tradicional para esta clase de sistemas hace un lógico hincapié en la construcción de cómo mínimo una serie de 2 baterías (según las cantidades de agua residual a tratar).

La implantación de una sola batería lleva a sacar de servicio la planta ante un imprevisto o durante ciertas tareas de mantenimiento, debiendo volcarse el agua residual cruda al cuerpo receptor.

Otro inconveniente de importancia se da en el cuerpo receptor. Si bien existe una norma que limita los valores del agua tratada en el receptor, en Chajari, aguas arriba del punto de volcado de la planta, se cuenta con conexiones para riego de varios emprendimientos frutícolas.

Esto representa una peligrosidad importante, mas aun teniendo en cuenta que para valores de caudales bajos en el arroyo, la dilución del agua residual es mínima. Este riego aumenta si tenemos en cuenta que los sistemas de lagunajos no cuentan con un sistema de desinfección que pueda eliminar correctamente los valores de coliformes. Si bien la calidad de esta agua para riego no fue analizada, resulta ser un punto a considerar en futuros estudios.

De igual manera, está claro que si los sistemas no cumplen las limitaciones impuestas en las normas, menos aun esa agua estará en condiciones de ser utilizada para riego. En muchas regiones de nuestro país, con una cultura importante en el riego, los organismos contralores intervinientes piden que se cumplan ciertas características del agua en el punto de toma, de manera de asegurar una dilución de las aguas residuales que permita la utilización de dicha fuente de agua sin inconvenientes.

En los dos sistemas de Chajari, las lagunas no cuentan con algún sistema de impermeabilización. Si bien de las conversaciones mantenidas con personal afectado, directa o indirectamente, a las plantas se ha comentado que las mismas se implantaron sobre un suelo acorde en cuanto a la permeabilidad, no se han hecho estudios ni monitoreos que comprueben lo mencionado. Más aun teniendo en cuenta que la ciudad toma agua potable a través de pozos y con el agregado de que las lagunas se encuentran cercanas a distintos emprendimientos agrícolas.

El inminente crecimiento poblacional de Chajari pasa a ser una amenaza importante a tener muy en cuenta.

Apoyado esto en el hecho de que las lagunas se encuentran al límite de su capacidad, debiendo implementarse de manera rápida una solución que pueda dar una salida al tema. En este sentido, la propuesta de solución final desarrollada a los efluentes cloacales es la más conveniente. De esta manera se eliminan los sistemas de lagunaje, se implementa un nuevo sistema de tratamiento que:

- utiliza la gran mayoría de las instalaciones existentes.
- prevé suficiente espacio para ampliaciones futuras.



- se encuentra a pocos metros de la planta de residuos sólidos (de manera que se pueden tratar los sólidos derivados del sistema de tratamiento de aguas residuales y también se puede proyectar el tratamiento de los lixiviados de la planta de tratamiento de residuos sólidos).
- se encuentra lo suficientemente alejado del casco urbano.
- presenta mejores parámetros de remoción.
- es un sistema altamente probado.
- contaría con un sistema de desinfección que eliminaría la carga de coliformes tan pronunciada en la actualidad.

El sistema de tratamiento de Chajari presenta dos sistemas independientes, que se han denominado Oeste y Este.

9.4.1. Sistema Oeste

El sistema de tratamientos Oeste es el más antiguo de los sistemas. Presenta serios problemas de funcionalidad y deterioro, de los cuales se puede inferir que su puesta en servicio de manera correcta depende exclusivamente de un plan de reconstrucción. Sin embargo, como surge del análisis de estrategias FODA, muchos de los problemas a considerar no tienen una solución sencilla, dificultándose su aplicación por cuestiones, principalmente, de la ubicación de las lagunas y una porción de habitantes de la ciudad ubicados en las cercanías.

Por este motivo, problemas tales como la seguridad del predio, atenuación de olores y controles de salud a la población dentro del área de influencia, analizados todos a través de las matrices FODA, son mecanismos que se deben imponer en lo inmediato. Este comentario va más allá de que se lleve a cabo o no la solución surgida en las estrategias FODA.

9.4.1.1. Análisis de DBO_5

Se relaciona esto con los resultados de los análisis realizados, donde se observó en el análisis de DBO_5 que presenta un efluente crudo de parámetros altos según el típico efluente domiciliario y el efluente tratado no cumple con la normativa vigente.

9.4.1.2. Análisis de Sólidos Sedimentables

Se observó para los valores de Sólidos Sedimentables, que tiende a estar dentro de los límites permitidos por la normativa, lo cual es contradictorio del estado de sedimentos de las lagunas corroborado en las distintas visitas. Además hay que tener en cuenta que desde el inicio de la actividad de la laguna no se han realizado operaciones de extracción de sólidos. Por tal razón, se cree incorrecto tomar los valores de los ensayos realizados para inferir de manera categórica, adoptándose inferencias basadas en lo empírico, tomando como base tratamientos similares de otras zonas, más lo aconsejado en bibliografías de cabecera.

Sin duda, la metodología más eficiente es corroborar a través de un análisis estadístico pleno. Esta dificultad se presentó a lo largo de la realización de este trabajo



por la falta de laboratorios habilitados para ensayar muestras semanalmente, y los costos de aquellos que estaban en condiciones de realizarlo.

9.4.1.3. *Análisis de Coliformes Fecales*

El sistema no posee ningún proceso para la eliminación de la materia orgánica, por lo que el análisis de Coliformes fecales arroja parámetros que están por encima de los valores admisibles de la norma. La capacidad de esta clase de tratamientos a la hora de la eliminación de coliformes es baja, de igual manera, los valores obtenidos para este sistema es aun más elevado que lo que se presenta como usual en la bibliografía.

De esta manera, se podría decir que la única manera para mantener los valores de coliformes dentro de la norma, se debería de agregar un tercer tratamiento, de desinfección o cloración. Esto aun para el caso de que las lagunas no presenten las magras condiciones de mantenimiento ya explicadas en el desarrollo del trabajo, y sea acondicionada para un funcionamiento correcto.

Los elevados valores de coliformes ratifican la concreción de un sistema de tratamiento único para la ciudad, tal como el planteado a partir del análisis de la matriz FODA. En el mismo se instala un tratamiento terciario, consistente en una cloración y una cámara de contacto, antes del volcado al cuerpo receptor. Con la implementación de este sistema se controla de manera concreta los valores de coliformes fecales.

9.4.2. *Sistema Este*

El sistema de lagunajes Este, es más joven, y por lo tanto los problemas no alcanzan a ser tan graves como en el sistema Oeste. De igual manera, se pueden determinar algunas fallas en cuanto a mantenimiento, la seguridad de la planta y estructurales.

Presenta ciertas ventajas respecto del sistema Oeste. La ventaja más importante se da en el hecho de que se encuentra más alejado del casco urbano, esto posibilita plantear modificaciones, ampliaciones en los sistemas y todas aquellas remediaciones surgidas del análisis FODA, sin inconvenientes hacia terceros. Este factor ha sido fundamental a la hora de plantear el sistema único de tratamiento de aguas residuales en la misma localización donde en la actualidad se encuentran las lagunas.

El análisis de calidad de aguas se realizó con datos históricos, ya que durante la realización de esta investigación el efluente no circuló por las lagunas debido a la rotura del sistema de bombeo, que es un grave problema que se suma a la falta de mantenimiento.

9.4.2.1. *Análisis de DBO₅*

Del estudio de calidad de agua se pudo determinar, específicamente en cuanto al análisis de DBO₅ que el efluente crudo presenta valores con características típicas de efluente domiciliario respecto de lo que marca la norma. De esta manera, la planta debería responder correctamente, en cuanto a su eficiencia de remoción, ya que los parámetros de DBO₅ crudos son los correctos.



A su vez, esta tendencia indica la correcta utilización del servicio cloacal, no contando con el vuelco del tipo industrial que hace elevar en gran magnitud los parámetros de DBO_5 afluente a la laguna.

El efluente final presenta tendencia a cumplir con la normativa vigente. Podemos deducir así que el sistema funciona correctamente y los problemas de mantenimiento no modifican ampliamente este parámetro de referencia.

Los pocos resultados de ensayos en este sistema no permiten inferir de manera certera sobre lo expuesto. Sin embargo, cotejando los ensayos analizados y la operatividad cualitativa verificada en las visitas, más el aporte de bibliografía en cuanto a los problemas comunes en esta clase de tratamiento, y por último la comparación de resultados de sistemas de similares características que operando en la región; se puede concluir que, aun con las fallas puestas en evidencia a través del análisis FODA, la planta cumple satisfactoriamente con la remoción de DBO_5 .

Esto sin embargo no significa que no se deben realizar las tareas de remediación expresadas en el análisis FODA. Más aun teniendo en cuenta, como se explico con anterioridad, que las plantas se encuentran al límite de su capacidad, o sea que para los próximos años, ante aumentos poblacionales, la planta dejara de entregar un agua residual con valores que cumplan con los exigidos por la norma.

9.4.2.2. *Análisis de Sólidos Sedimentables y Coliformes*

Desde su puesta en funcionamiento en el año 2006, no se realizaron tareas de dragado y extracción de sedimentos, pero no se pudo contrastar esto con la calidad de agua debido a que no se pudo analizar este parámetro, ni el contenido de Coliformes fecales, por la falta de circulación del efluente.

9.5. Conclusiones generales y discusión

Este trabajo de investigación, aporta un registro de los sistemas de tratamientos empleados en la costa del Rio Uruguay de la Provincia de Entre Ríos, para la conversión de efluente domiciliario de las comunas. Como herramienta de evaluación da un panorama completo del estado operacional de los sistemas, y pautas inmediatas para la solución de los problemas de funcionamiento observados. En un primer aporte, se resuelven situaciones puntuales de mantenimiento, que deterioran el funcionamiento macro de los sistemas.

Como solución de fondo, este trabajo plantea aquellas soluciones técnicamente recomendables para cada localidad de estudio. Es de destacar que las soluciones planteadas no son a nivel de anteproyecto, sino un análisis básico para analizar la posible implementación de los sistemas elegidos. Esto aporta por una parte solución a los problemas de fondo de cada sistema y deja como iniciativa la posibilidad de profundizar los sistemas planteados, pero a nivel de proyecto ejecutivo.



Como conclusión técnica, es necesario recalcar que en la provincia no existe una estructura importante para la realización de ensayos de calidad de agua a través de medios estatales.

Si bien sobre la costa del Rio Uruguay existe la posibilidad de realizarlos, las condiciones de trabajo del mismo están condicionadas por la escasa cantidad de material tecnológico y humano. Esto limita el pedido de los municipios interesados de realizar controles diarios o semanales. Finalmente esto se traduce en la imposibilidad de generar un registro histórico de calidad de agua para control de los sistemas.

Este trabajo de investigación debería complementarse, como se dijo en el desarrollo del mismo, con un análisis estadístico más profundo respecto de la calidad de los efluentes. Esto debería alcanzar un desarrollo tal que el numero de muestras sea suficiente para ponderar los problemas de mantenimiento a través del análisis de calidad de agua.

Respecto de los análisis de calidad de agua presentados, pueden ser complementados con análisis semanales de cada proceso que permitiría la detección puntual de los problemas macros observados, así como la realización de medición de caudales de ingreso, egreso y la cantidad de sedimentos depositados.

Esta investigación tiene punto de continuación, considerando en el análisis aquellos procesos llevados adelante en otras localidades de menor cantidad de habitantes. Entre estos procesos se pueden incluir los análisis de sistemas de lagunaje menores y aquellos procesos de filtros biológicos que existen en la costa del Rio Uruguay.



Bibliografía

- Dr. Manuel Peña del CEPIS, Día Mundial del Agua 2008: "El Saneamiento importa" conferencia que se realizó en sede de la OMS.
- II Congreso Internacional Smallwat 2002.
- Noyola A., Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales, Tendencias en el tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica.
- Metcalf y Eddy, Ingeniería de Aguas Residuales, Tercera Edición.
- Revista DYNA, publicación Julio-Agosto y Setiembre 2000, secado térmico de fangos de depuradoras de aguas residuales, Miguel Angel Sanz Casas - Director Técnico y de Proyectos Degremont Medio Ambiente, S.A.
- Y. Tselentis y S. Alexopoulou, Water Sci. Techn. (1996)
- Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árboles y bosques, S. Braatz y A. Kandiah.
- Ing. Paulino Gonzalez Quintana Jefe de División de Ingeniería Ambiental CESIGMA S.A., Aguas residuales, Sistemas de tratamiento y soluciones ingenieras para el reuso de efluentes, Octubre de 2002.
- XXX Aniversario de Biotecnología y Bioingeniería, Sistemas de tratamiento de aguas residuales por aplicación al suelo, Dioselina Alvarez Bernal, Silvia M. Contreras Ramos y Héctor M. Poggi Varaldo.
- M.M. Pescod, FAO Irrigation & Drainage (1992).
- R. Armon et al. Water Sci. Tech. 30, 239 (1994); H. Bouwer y E. Idelovitch, Irrigation & Drainage Eng. 113, 516 (1987).
- Bartone y Arlosoroff, 1987
- El-Lakany, 1995.
- Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árboles y bosques, S. Braatz y A. Kandiah.
- [Revista colombiana de Química, Volumen 34, No. 2 de 2005, Nuevos sistemas electroquímicos y fotoquímicos para el tratamiento de aguas residuales, Víctor M. Sarria, Sandra Parra, Ángela G. Rincón, Ricardo A. Torres y César Pulgarín.
- Website www.lenntech.com, sistemas UV en aguas residuales, Compañía Lenntech.
- Website www.agroterra.com, Depuradoras, Douglas Hogge, Compañía Biodigester Ibérica.
- Website www.ecoplan.com, Soluciones de ingeniería, Compañía Ecoplan.
- Tesis: "Anteproyecto de construcción para aplicación de lombricultura al tratamiento de planta Llau-Llao de salmonera Invertec S.A.". Universidad Austral de Chile.
- Aportes al manejo del ambiente para una salud de calidad en el Perú; "Manejo integral de residuos sólidos".
- Álvaro Conlanhed; Leandro SancJoval.
- CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005.
- www.ecoport.net; Cristian Frers, Técnico Superior en Gestión Ambiental.
- Ingeniería de aguas residuales, Metacalf & Eddy.
- Metodología para el análisis FODA. Instituto Politécnico Nacional, Secretaría Técnica. Dirección de planeación y organización, Marzo de 2002.



- Hugo Esteban Glagovsky, Facultad de Cs. Económicas, Universidad de Buenos Aires, Licenciatura en Sistemas de Información de las Organizaciones.
- Metodología para el análisis FODA. Instituto Politécnico Nacional, Secretaria Técnica. Dirección de planeación y organización, Marzo de 2002.
- CEPIS, "Diseño construcción y operación de rellenos sanitarios", 2005.
- Plataforma ciudadá en defensa da comarca do Ribeiro; 3 Marzo 2009.



Índice de Figuras

Figura 2-1. Cono Imhoff empleado para la determinación de los sólidos sedimentables presentes en el agua residual. La cantidad de sólidos acumulados en la parte inferior del cono se expresa en ml/l.	15
Figura 2-2. Aparato empleado para la determinación del contenido de sólidos en suspensión.....	16
Figura 2-3. Rejas autolimpiantes típicas.....	27
Figura 2-4. Elementos de desbaste típicos: a) Tamiz inclinado estático autolimpiante. b) Tamiz de tambor rotatorio c) Tamiz de disco giratorio d) Tamiz centrifugo.	28
Figura 2-5. Agitadores típicos: (a) y (b) Agitador de hélice (c) Mezclador de turbina (d) Mezclador estático (e) Mezclador de turbina en línea.....	30
Figura 2-6. Tipos de filtros: (a) Filtro convencional, monomedio, flujo descendente; (b) Filtro convencional, bimedio, flujo descendente; (c) Filtro convencional, monomedio, de lecho profundo, flujo descendente; (d) Filtro de lecho profundo y flujo descendente; (e) Filtro de lecho pulsante; (f) Filtro de puente móvil; (g) Filtro de lecho profundo, flujo ascendente, y lavado a contra corriente continuo y (h) Filtro de arena lento.....	32
Figura 2-7. Tipos de Rejas.....	49
Figura 2-8. Cuchara bivalva empleada para retirar arena de un desarenador.....	52
Figura 2-9. Clarificador-floculador típico empleado en el tratamiento del agua residual.....	53
Figura 2-10. Tanque rectangular de decantación primaria	54
Figura 2-11. Tanque de decantación rectangular vacío en el que se aprecian los rascadores del fango.	55
Figura 2-12. Tanque de decantación con mecanismo de arrastre del fango por puente móvil: (a) Tanque de sedimentación de paredes inclinadas, y (b) Decantador rectangular convencional.....	56
Figura 2-13. Tanque circular de decantación primaria: (a) de alimentación central, y (b) de alimentación periférica	57
Figura 2-14. Tanque de decantación de alimentación central equipado con puente rascador.....	58
Figura 2-15. Sección transversal de un digestor típico convencional.....	72
Figura 2-16. Sección de un digestor de alta carga con dispositivo de mezclado con gas.	72
Figura 2-17. Tipos de cubiertas de digestores anaerobios: (a) cubiertas flotantes, y (b) cubiertas fijas.....	73
Figura 2-18. Sistemas utilizados para mezclar el contenido de los digestores anaerobios de alta carga: (a) sistemas de inyección de gas no confinado, (b) sistemas de inyección de gas confinado, (c) sistema de mezclado mecánico, y (d) sistema de bombeo mecánico.....	74
Figura 2-19. Modos de funcionamiento de los digestores aerobios: (a) funcionamiento discontinuo, y (b) funcionamiento continuo.....	76
Figura 2-20. Sistemas de compostaje: (a) pilas estáticas aireadas, y (b) pilas volteadas.	79
Figura 2-21- Equipo para la desinfección por rayos UV.....	95
Figura 2-22. Equipo para la desinfección por OCAH.	96
Figura 2-23. Depuradora.....	97



Figura 2-24. Equipo de tratamiento compacto.....	100
Figura 2-25. Etapas del Sistema Tohá.....	102
Figura 2-26. Lombrifiltro protegido por mallas de Fjord Sea Food S.A.....	106
Figura 2-27. Lombrifiltro provisto de aireadores y aspersores.....	108
Figura 2-28. Contaminación y usos del agua.....	114
Figura 3-1. Hidrografía de la provincia de Entre Ríos.....	119
Figura 3-2. Vista aérea de la 1ra. Planta de tratamiento de Gualeguaychú.....	120
Figura 3-3. Vista de la primera planta de tratamiento de Gualeguaychú.....	121
Figura 3-4. Inicio de los movimientos de suelo.....	122
Figura 3-5. Inundaciones de la zona producto de la llamada Corriente del Niño.....	123
Figura 3-6. Colocación de la membrana impermeabilizante en una de las piletas.....	124
Figura 3-7. Vista aérea de las lagunas antes de su puesta en marcha.....	125
Figura 3-8. Vista aérea de la planta terminada.....	125
Figura 3-9. Vista de la cámara de rejillas y canasto de recolección de residuos.....	130
Figura 3-10. Vista del sistema de impulsión.....	130
Figura 3-11. Vista del desarenador.....	131
Figura 3-12. Lagunas aireadas.....	133
Figura 3-13. Vista de lagunas de sedimentación.....	134
Figura 3-14. Canaleta Parshall.....	135
Figura 3-15. Cámara de contacto.....	136
Figura 3-16. Sala de cloración, imagen de los recipientes con el cloro.....	137
Figura 3-17. Sala de comandos, tablero principal.....	140
Figura 4-1. Principales afluentes de la Ciudad de Colón.....	146
Figura 4-2. Ubicación del sistema de lagunaje de la ciudad de Colón.....	149
Figura 4-3. Configuración del sistema de lagunas de estabilización.....	150
Figura 4-4. Estructura de ingreso del efluente al estanque anaerobio.....	151
Figura 4-5. Estanque o laguna anaerobia.....	152
Figura 4-6. Laguna facultativa.....	153
Figura 4-7. Anclaje de la cañería de ingreso.....	154
Figura 4-8. Sistema de ingreso del efluente.....	154
Figura 4-9. Falta de delimitación del predio y cercanía de asentamientos.....	154
Figura 4-10. Crecimiento de malezas en taludes de lagunas.....	155
Figura 5-1. Ubicación geográfica de la ciudad de Federación.....	157
Figura 5-2. Ubicación de la Planta de tratamientos de la ciudad de Federación.....	159
Figura 5-3. Esquema de la planta de tratamientos.....	164
Figura 5-4. Esquema y foto del desarenador.....	165
Figura 5-5. Imagen de la cámara de rejillas.....	166
Figura 5-6. Esquema de tanques de aireación.....	167
Figura 5-7. Imagen de los tanques de aireación.....	168
Figura 5-8. Esquema de los espesadores de barro.....	168
Figura 5-9. Imagen de los espesadores de barro.....	169
Figura 5-10. Esquema de Sedimentadores.....	170
Figura 5-11. Imagen actual de sedimentadores.....	170
Figura 5-12. Imagen de la cámara de contacto y cloración. Ingreso del efluente y de la vena de cloro en la cámara de contacto.....	171
Figura 5-13. Imagen de la cámara de contacto en hora pico de trabajo.....	171
Figura 5-14. Playa de secados de barro. Barro disecado por el proceso natural.....	173
Figura 5-15. Imagen actual del estado de las playas de secado.....	173



Figura 5-16. Esquema en planta de la descarga para camiones atmosféricos.....	179
Figura 5-17. Esquema en corte de la descarga para camiones atmosféricos.....	179
Figura 5-18. Esquema en planta y corte del desarenador.	180
Figura 5-19. Esquema de la playa de secado de arenas.....	180
Figura 5-20. Esquema del tanque de aireación construido como inicio de obras de ampliación.....	181
Figura 5-21. Imágenes del funcionamiento de los estanques de microburbujas.....	182
Figura 5-22. Esquema en planta del futuro sedimentador.	182
Figura 5-23. Esquema en corte del futuro sedimentador.	183
Figura 5-24. Esquema del espesador de barro a futuro.....	184
Figura 5-25. Esquema de las playas de secado a implementar.....	185
Figura 5-26. Esquema en corte de la estación de bombeo para recirculación de barro.	186
Figura 5-27. Esquema en planta de la estación de bombeo.....	186
Figura 5-28. Imagen del estado actual de la cámara de rejas.	187
Figura 5-29. Imagen actual del by pass y de las compuertas de regulación de caudal.	188
Figura 5-30. Residuos extraídos de cámaras de rejas.....	188
Figura 5-31. Acumulación de residuos en esquinas de tanques de aireacion	189
Figura 5-32. Funcionamiento del digester de barro.....	190
Figura 5-33. Derivador de caudales.....	190
Figura 5-34. Equipos del sedimentador de barro	191
Figura 5-35. Estado de las tolvas de recolección de residuos de los sedimentadores.	191
Figura 5-36. Exceso de caudal en cámara de contacto.	192
Figura 5-37. Estados de los equipos de cloración.	192
Figura 5-38. Extracción de residuos de las playas de secados.	195
Figura 6-1. Ubicación de la ciudad de Chajari en referencia a los cursos de agua.....	197
Figura 6-2. Ubicación de la ciudad de Chajari, zona urbana en relación a la ubicación de las lagunas.....	199
Figura 6-3. Ubicación de los sistemas de lagunajes, y del arroyo Chajari, cuerpo receptor.....	200
Figura 6-4. Esquema de los sistemas de lagunaje.	202
Figura 6-5. Imagen actual de estanque anaerobio.....	203
Figura 6-6. Imagen del estanque facultativo.	204
Figura 6-7. Imagen actual de la estructura de salida y del cuerpo receptor.....	204
Figura 6-8. Estructura de entrada.	205
Figura 6-9. Imagen del estanque anaerobio, sistema este.	206
Figura 6-10. Imagen de la cañería de interconexión y del estanque facultativo.	207
Figura 6-11. Estructura de salida.....	207
Figura 6-12. Eutrofización, acumulación de algas en estanques. Sistema Oeste.....	208
Figura 6-13. Imagen de la rotura de la cañería de entrada en lagunas de sistema Este.	209
Figura 6-14. Imagen de la rotura de la cámara de ingreso. Escape de efluente crudo.	210
Figura 7-1. Puntos de muestreo del sistema de Colón.	215
Figura 7-2. Puntos de muestreos del sistema oeste y este de Chajari.	219
Figura 7-3. Puntos de muestreos del sistema Federación.....	225
Figura 7-4. Puntos de muestreos del sistema Gualeguaychú.....	230



Figura 8-1 Vista de un sistema de aireación, uno de los equipos de mayor consumo.	236
Figura 8-2. Zona de producción de los gases.....	237
Figura 8-3. El caudal de las cañerías de impulsión que producen las salpicaduras y gases.....	238
Figura 8-4. Interior del pozo de bombeo.....	239
Figura 8-5. Vista de los residuos luego de pasar por la cámara de rejillas.....	240
Figura 8-6. Parshall donde se efectuaba la desinfección.....	241
Figura 8-7. Tanques de cloro que se utilizaban para la coloración.....	241
Figura 8-8. Vista general del predio ocupado por la planta de tratamiento.....	243
Figura 8-9. Cámara colapsada por ingreso de efluentes en días lluviosos.....	244
Figura 8-10. El ENOHSa financio las obras en la construcción de la planta.....	245
Figura 8-11. Pileta de prueba de aireadores.....	247
Figura 8-12. Escala evolutiva de procesos.....	258
Figura 8-13. Tipos de suelos y coeficientes de permeabilidad.....	259
Figura 8-14. Condiciones climatológicas del relleno.....	260
Figura 8-15. Disposición de trincheras.....	267
Figura 8-16. Esquema general.....	281
Figura 8-17. Cámara de rejillas.....	282
Figura 8-18. Capas del Lombrifiltro.....	283
Figura 8-19. Estructura de protección de los biofiltros.....	285
Figura 8-20. Esquema de procesos llevado a cabo en el proyecto de planta.....	311
Figura 8-21. Esquema de proyección del ingreso del efluente a la nueva planta.....	312
Figura 8-22. Cámara bypass, Cámara quietadora y Desarenador.....	313
Figura 8-23. Esquema de lagunas aireadas.....	315
Figura 8-24. Reacondicionamiento de taludes para proyecto de planta.....	315
Figura 8-25. Esquema de lagunas de sedimentación.....	316
Figura 8-26. Disposición de la canaleta parshall y cámara contacto.....	317
Figura 8-27. Playas de secado de barros.....	317
Figura 8-28. Composición de las playas de secado.....	318



Índice de Tablas

Tabla 2-1. Porcentajes de tratamiento de las aguas residuales municipales para algunos países de la región	10
Tabla 2-2. Tecnologías en el tratamiento de las aguas residuales	10
Tabla 2-3. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual y sus procedencias.....	14
Tabla 2-4. Aplicaciones de las operaciones físicas unitarias en el tratamiento de aguas residuales.....	26
Tabla 2-5. Aplicaciones de los procesos químicos unitarios en el tratamiento del agua residual.....	34
Tabla 2-6. Valores de los límites máximos permisibles.	88
Tabla 2-7. Calidad de agua para reuso.....	89
Tabla 2-8. Alturas recomendables para la capa de aserrín.	106
Tabla 2-9. Proceso de descomposición de la materia orgánica en las camas de.....	107
Tabla 2-10. Índices de eficiencia.....	109
Tabla 2-11. Diferencias entre rellenos sanitarios y basureros a cielo abierto.	116
Tabla 3-1. Datos del censo 2001 del INDEC para Gualaguaychú.	118
Tabla 3-2. Arroyos afluentes al río Gualaguaychú y sus características.....	119
Tabla 3-3. Población y porcentaje de cobertura en servicio de cloacas domiciliarias.	126
Tabla 3-4. Tabla de resumen de caudales.....	127
Tabla 5-1. Crecimiento poblacional de acuerdo a distintas proyecciones de crecimiento.	160
Tabla 5-2: Planilla utilizada para la determinación de los caudales ingresantes a la actual planta depuradora.....	175
Tabla 5-3: Caudales resultantes del aforo realizado en el mes de septiembre de 2003.	176
Tabla 5-4. Tabla de demanda y caudales.....	177
Tabla 7-1. Composición típica de líquidos cloacales crudos [Metcalf y Eddy]	213
Tabla 7-2. Composición de los efluentes.	214
Tabla 8-1. Matriz Plana FODA.	246
Tabla 8-2. Matriz Debilidades – Amenazas Gualaguaychú.	247
Tabla 8-3. Matriz Debilidades – Oportunidades Gualaguaychú.....	250
Tabla 8-4. Matriz Fortalezas – Oportunidades Gualaguaychú.....	255
Tabla 8-5. Producción de Residuos.....	262
Tabla 8-6. Densidad de Residuos.....	262
Tabla 8-7. Volúmenes de Material de Cobertura.	264
Tabla 8-8. Longitudes de trinchera.	265
Tabla 8-9. Matriz plana FODA Colón.	273
Tabla 8-10. Matriz estrategia Debilidad-Amenaza.	275
Tabla 8-11. Matriz estrategia Debilidades-Oportunidades.	278
Tabla 8-12. Matriz estrategia Fortaleza-Oportunidades.....	280
Tabla 8-13 . Matriz FODA Federación.	292
Tabla 8-14. Matriz Debilidades – Amenazas Federación.....	293
Tabla 8-15. Matriz Debilidades – Oportunidades Federación.....	295
Tabla 8-16. Matriz Fortalezas – Amenazas Federación.....	297
Tabla 8-17. Matriz Plana FODA Chajari.....	302
Tabla 8-18. Matriz Debilidades – Amenazas Chajari.	303



Tabla 8-19. Matriz Debilidades – Oportunidades Chajari.307

Tabla 8-20. Matriz Fortalezas – Amenazas Chajari.....308

Tabla 8-21. Matriz Fortalezas – Oportunidades Chajari.309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400



Índice de Gráficos

Grafico 2-1. Eficiencia del sistema en tratamiento de aguas servidas.	104
Grafico 7-1. Comparación entre la DBO5 del crudo y la exigencia de la normativa....	215
Grafico 7-2. Comparación entre la DBO5 del efluente final y la exigencia de la normativa	216
Grafico 7-3. Comparación entre SS 2hs. del crudo y la exigencia de la normativa.....	216
Grafico 7-4. Comparación entre SS 2hs. del final y la exigencia de la normativa	217
Grafico 7-5. Comparación de remoción de S.S. en 2 Hs entre líquido crudo y final del sistema Colón.....	217
Grafico 7-6. Comparación entre Coliformes fecales del final y la exigencia de la normativa	218
Grafico 7-7. Comparación entre la DBO5 del crudo y la exigencia de la normativa del sistema este Chajarí.....	220
Grafico 7-8. Comparación entre la DBO5 del efluente final y la exigencia de la normativa del sistema este Chajarí.	220
Grafico 7-9. Comparación entre la DBO5 del crudo y la exigencia de la normativa del sistema oeste Chajarí.....	221
Grafico 7-10. Comparación entre la DBO5 del efluente final y la exigencia de la normativa del sistema oeste Chajarí.	222
Grafico 7-11. Comparación entre SS 2hs. del crudo y la exigencia de la normativa en el sistema oeste Chajarí.....	222
Grafico 7-12. Comparación entre SS 2hs. del final y la exigencia de la normativa en el sistema oeste Chajarí.....	223
Grafico 7-13. Comparación de remoción de S.S. en 2 Hs entre líquido crudo y final del sistema oeste Chajarí.....	223
Grafico 7-14. Comparación entre Coliformes fecales del final y la exigencia de la normativa del sistema oeste Chajarí.	224
Grafico 7-15. Comparación entre la DBO5 del crudo y la exigencia de la normativa del sistema Federación.	226
Grafico 7-16. Comparación entre la DBO5 del efluente final y la exigencia de la normativa del sistema Federación.....	226
Grafico 7-17. Comparación entre SS 2hs. del crudo y la exigencia de la normativa en el sistema Federación.	227
Grafico 7-18. Comparación entre SS 2hs. del final y la exigencia de la normativa en el sistema Federación.	228
Grafico 7-19. Comparación de remoción de S.S. en 2 hs entre líquido crudo y final del sistema Federación.	228
Grafico 7-20. Comparación entre Coliformes fecales del final y la exigencia de la normativa en el sistema Federación.....	229
Grafico 7-21. Comparación entre la DBO5 del crudo y la exigencia de la normativa en el sistema Gualeguaychú.....	230
Grafico 7-22. Comparación entre la DBO5 del efluente final y la exigencia de la normativa en el sistema de Gualeguaychú.	231
Grafico 7-23. Comparación entre SS 2hs. del crudo y la exigencia de la normativa en el sistema de Gualeguaychú.....	231
Grafico 7-24. Comparación entre SS 2hs. del final y la exigencia de la normativa en el sistema de Gualeguaychú.....	232



Grafico 7-25. Comparación de remoción de S.S. en 2 hs entre líquido crudo y final del sistema de Gualeguaychú.232

Grafico 7-26. Comparación de S.S. en 2 hs. Entre laguna 1 y laguna 2 del sistema de Gualeguaychú.....233

Grafico 8-1. Proyección demográfica.294

FACULTAD REGIONAL CONCEPCION DEL URUGUAY
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

MONUMENTO HISTÓRICO NACIONAL

TEL / FAX: (03442) 425541 / 423803
Ing. PEREYRA S/O - 53204BYD - CONCEPCION DEL URUGUAY
ENTRE RIOS - REP. ARGENTINA