



Documento: DI/18  
Item Agenda: GROL 5  
Presentado por: Chile

**“DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS SERVIDAS DE LA BASE PROFESOR JULIO  
ESCUDERO Y CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO”**



## **DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE LA BASE PROFESOR JULIO ESCUDERO Y CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO**

### **1. Introducción**

De acuerdo a lo establecido en el protocolo de Madrid, todos aquellos países que posean bases en el continente antártico deben tratar las aguas servidas producidas por el uso de las instalaciones que han establecido. Es así como la Base Profesor Julio Escudero, ubicada en la isla Rey Jorge, Shetland del Sur, posee un módulo que alberga una planta de tratamiento de aguas servidas domésticas compacta, de forma cilíndrica y construida en fibra de vidrio reforzado. La planta está dividida en diferentes compartimientos donde se desarrollan los procesos unitarios de biodegradación, bajo la modalidad de lodos activados del tipo aeración extendida. Esta planta se encuentra en una dependencia aislada, construida, al igual que las otras dependencias, mediante paneles aislantes ( $3,60 \times 7,20 \text{ m}^2$ ), con un sistema de calefacción que permite mantener una temperatura ambiente en  $20^\circ \text{C}$ . Las aguas residuales provenientes de los distintos módulos de la Base son almacenadas en un estanque de acero inoxidable, en cuyo interior se encuentran dos bombas trituradoras impulsoras, las cuales actúan alternadamente y tienen como objeto bombear el agua residual hacia la planta de tratamiento de aguas servidas.

### **2. Antecedentes Generales**

La planta de tratamiento tiene una capacidad de 7.900 litros, con una posibilidad de tratamiento máximo de 6.000 litros/día, provocando la depuración de las aguas mediante la eliminación y/o la separación de sólidos y la desinfección final de las aguas, con el objeto de proporcionar un efluente final limpio e inodoro. Esta planta de tratamiento funciona en promedio dos o tres meses en el año, quedando el período restante sin funcionamiento. La secuencia del flujo normal de las aguas en tratamiento en la planta posee las siguientes etapas:

Decantador Primario: Corresponde al primer compartimiento que recibe el afluente crudo, cuya función es dosificar la entrada de lodos sólidos al reactor aeróbico. La salida de su contenido se produce a medias aguas, para evitar el ingreso de exceso de aceites y grasas o de lodos en abundancia. En este compartimiento se produce un proceso de digestión anaeróbica, que también contribuye a la reducción de materia orgánica presente en el afluente.



Reactor Aeróbico: Corresponde al área mayor de la planta, donde se encuentran ubicados cuatro difusores de burbuja fina en el fondo, encargados de inyectar aire al sistema, y dos cuerpos de biodeck o filtro medio, cuya función es incrementar la superficie de adherencia para organismos digestores, además de contribuir a una mejor retención del oxígeno en el medio. En este compartimiento se genera el mayor tiempo de permanencia del cuerpo de agua y se produce con mayor efectividad el proceso de digestión aeróbica y la oxidación de los componentes orgánicos de las aguas en tratamiento.

Decantador Secundario: En esta etapa del proceso se produce la clarificación de las aguas, permitiéndose la decantación de aquellos elementos sólidos aún permanentes, acción permitida por la quietud de la masa de agua y la geometría de las paredes inclinadas.

Sistema de Aeración: El sistema de aeración de la planta está compuesta por dos equipos aireadores que proporcionan al sistema un caudal de 6 m<sup>3</sup>/hora de aire, cada uno, distribuidos en cuatro difusores de membrana de burbuja fina. La conducción del aire se realiza mediante una cañería de fierro galvanizado de 1". Este sistema se encuentra controlado por un reloj temporizador, el cual permite calibrar los tiempo de inyección del aire, dependiendo de la dotación existente.

### 3. Parámetros de Diseño

3.1. El diseño estructural y operacional, consideró los siguientes parámetros:

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD
Población	Habitantes	15 – 30
Dotación	Litros/hab/día	200
Capacidad de Tratamiento: Caudal	Litros/día	6.000
Capacidad Tratamiento: Carga	kg/día	2*

(\*) Factor de seguridad: 1,5



3.2. Las variables de diseño para los efectos de funcionalidad y de los procesos que tienen lugar como reactor biológico son los siguientes:

Carga volumétrica	kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup>	0,10 a 0,20
Carga masiva	kg DBO <sub>5</sub> /kg MLSSV	0,05 a 0,15
Tiempo retención	Horas	12 – 24
Recirculación	%	50 – 100
MLSS	mg/l	2.000 – 4.000

MEMORIA	
Características del Afluente	Requerimiento del Efluente
Población equivalente : 30 habitantes	Remoción DBO <sub>5</sub> : 90 %
Dotación consumo : 200 l/hab/día	DBO <sub>5</sub> efluente máx : 35 mg/l
DBO <sub>5</sub> afluente : 200 mg/l	SS efluente máx : 35 mg/l
SS afluente : 5 - 15° C	Coliformes fecales : < 1000 NMP/100ml
Temperatura operación : 5 – 15° C	

PARÁMETROS Y BASES DE DISEÑO	
Factor máximo día : 1,3 Q <sub>MAX</sub> día/Qx	Carga orgánica a remover : 1,17 kg/día
Factor máximo hora : 2 Q <sub>MAX</sub> hora/Qx	Factor kg O <sub>2R</sub> /1 kg DBO <sub>5</sub> : 1,3
Caudal aguas servidas : 6 m <sup>3</sup> /día	Factor kg O <sub>2R</sub> /1 kg NH <sub>3</sub> : 4,6
Caudal máximo diario : 8 m <sup>3</sup> /día	Oxígeno requerido : 2,0 kg O <sub>2</sub> /día
Caudal máximo horario : 0,5 m <sup>3</sup> /día	Aire requerido : 2,8 m <sup>3</sup> /h
Caudal de diseño : 6 m <sup>3</sup> /día	Aire en 10 horas : 20 m <sup>3</sup>
Carga DBO <sub>5</sub> : 1,2 kg/día	

### 3.3. Normativa Vigente

De acuerdo a lo indicado por la empresa proveedora, el diseño e ingeniería asociados a la construcción de la planta permite garantizar las descargas de las aguas tratadas ajustadas a las exigencias de la norma DS N° 90, del 30 de mayo de 2000, publicada en el Diario Oficial Chileno del 7 de marzo de 2001, el cual fija los límites máximos permitidos para la descarga



de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la zona de protección litoral (Tabla N° 4), vigentes a partir del 7 de septiembre de 2001:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) < 60 mg/l
- Sólidos suspendidos totales (SST) < 100 mg/l
- Coliformes fecales < 1000 NMP/100 ml

#### **4. Mediciones y revisiones realizadas**

Durante la temporada pasada (2004-2005) se realizó un diagnóstico del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas servidas que funciona en Base Escudero, realizando mediciones, toma de muestras, resultados de laboratorio, comparaciones con la normativa vigente y recomendaciones finales. Este trabajo fue realizado por expertos de la Universidad de Magallanes, quienes realizaron dos viajes a la base. El primero para la puesta en marcha de la base y el segundo durante los días de cierre de ésta.

##### **4.1. Tiempo de residencia**

Durante 24 horas, y con la base ocupada por 40 personas (dotación superior a la capacidad de la base), se determinó un caudal de alimentación de agua residual a la planta de tratamiento de 10,5 m<sup>3</sup>. Los datos de diseño de la planta, que indican una capacidad máxima de tratamiento en su cámara de aerobia de 6.000 l/día, permiten determinar que las cantidades estudiadas excedieron la capacidad máxima de tratamiento teórica de la planta.

Considerando el número de ocupantes, se pudo determinar un consumo promedio por persona de 262,5 l/día, consumo que sobrepasa los datos considerados en el diseño de la planta (200 l/día), por lo cual la planta tendría, en las condiciones actuales, una capacidad inferior a la proyectada para 30 personas. Si los consumos determinados se mantienen en el tiempo, sólo se cumplirían los supuestos de diseño para 22 personas.

##### **4.2. Análisis del Efluente**

Se tomaron tres muestras del efluente de la planta de tratamiento cada dos horas, durante 24 horas, de acuerdo al caudal estimado a partir de los vaciados del estanque de acero que recibe



las aguas residuales de los diversos módulos y que, por medio de bombas trituradores, la desplazan hasta la planta de tratamiento.

Resultados de los Análisis de Laboratorio:

Análisis	M1 10:30 a 18:30 h	M2 18:31 a 02:30 h	M3 02:31 a 10:30 h	Licor Mezcla	Norma Análisis	Norma de vertido
PH	7.47	7.44	7.22		NCh2313 / 2	6 – 9
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	8000	1400	34	-	NCh2313 / 22	1000
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	85	85	84	-	Stnd Method	
NTK (mg/l)	105	103	107		NCh2313 / 28	50
DBO5 (mg/l)	231	234	232	-	NCh2313 / 5	60
DQO (mg/l)	823	750	753	-	NCh2313 / 24	
SS Totales (mg/l)	292	244	290	1311	NCh2313 / 3	100
S Volátiles (mg/l)	-	-	-	1210	Stnd Method	
S Sedimentables (ml/lh)	0.1	0.1	0.1	-	NCh2313 / 4	5
Fósforo total (mg/l)	12	10	5	-	NCh2313 / 15	5
Aceites y Grasas (mg/l)	188	152	123	-	NCh2313 / 6	20
Hidrocarburos Fijos (mg/l)	14	31	28	-	NCh2313 / 7	10
Nº de arranques	13:43 h 16:46 h	20:45 h 22:29 h	7:56 h 8:31 h 9:47 h			

Universidad de Magallanes / Facultad de Ingeniería / Ingeniería Química

#### 4.3. Valoración de los resultados obtenidos

Si bien se llevó biomasa obtenida de fango de una planta de tratamiento de aguas residuales para la puesta en marcha de la base, esta no fue suficiente y no tuvo el tiempo necesario para colonizar el soporte, por lo cual los procesos biológicos no alcanzaron a desarrollarse completamente. A pesar de lo anterior, la medida de sólidos volátiles arrojó un valor de 1.210 mg/l, superior al que era de esperar en la puesta en marcha de la planta, demostrando que la inoculación del sistema resulta ser un método adecuado para el inicio de las actividades.

Los restantes parámetros, a excepción del pH y los sólidos sedimentables, no cumplen con la legislación chilena (Decreto Supremo 90, del año 2000, Tabla 4). Los coliformes fecales son el único parámetro que cumple la normativa en la tercera muestra, debido a que el lapso de tiempo de muestreo corresponde principalmente a aguas provenientes de las duchas.



Paralelamente a la toma de muestras, se midió en la cámara aeróbica el oxígeno disuelto debido al mal olor generado por la planta durante su funcionamiento. A pesar de las variaciones en los tiempos de funcionamiento de los aireadores, no se obtuvieron buenos resultados, ya que las mediciones indicaban valores cercanos a cero.

#### 4.4. Revisión de la Planta de Tratamiento

Se pudo comprobar el mal funcionamiento de una de las bombas de aireación, debido a la escasa presencia de burbujas. Esta situación no se detectó con anterioridad, ya que el motor defectuoso arrancaba, suponiendo su funcionamiento normal.

Vaciada la planta de tratamiento, se pudo observar que los aireadores no se encontraban directamente bajo el soporte, por lo cual las burbujas tendían a subir inmediatamente a la superficie, disminuyendo su tiempo de residencia en el líquido (una de las funciones del soporte es aumentar el tiempo de residencia de las burbujas). Así también, dos de los cuatro aireadores presentaban un funcionamiento defectuoso, mostrando ambos un flujo mínimo de aire.

El soporte se encontró sin biomasa en uno de sus lados, posiblemente por el esfuerzo cortante del flujo de aire de los dos aireadores en buen estado. El otro lado estaba tapado de sólidos, produciendo probablemente la ausencia de aireación que favoreciera su eliminación.

### 5. Calidad del agua de consumo

La Base Escudero obtiene su agua de consumo desde una laguna ubicada en un cerro cercano, la cual fue objeto de estudios de laboratorio, determinándose su condición de agua potable. No obstante, se recomendaron dos acciones:

- Uso de un filtro colocado en la captación del agua, con el objeto de eliminar la posibilidad de presencia de sólidos suspendidos o microorganismos (copépodos).
- Incorporar cloro a los estanques de almacenamiento de agua, estimando una dosificación de 1 litro de cloro comercial por cada 8.000 litros de agua (capacidad de cada estanque de almacenamiento de la Base), debiendo verificar esta dosificación *in situ*, mediante la medida del Cloro Residual, el cual deberá mantenerse entre los 0,5 y 1 mg/l, medido mediante un equipo de análisis portátil, que permite una rápida medida de este parámetro.

**Resultado de los Análisis de Laboratorio:**

Análisis	Muestra de agua de consumo	Norma Análisis	Norma de agua potable
Ph	7,39	NCh2313 / 2 Of 95	6 – 8,5
Turbidez (FTU)	1,63	Stnd Method	5
Color verdadero (escala Pt-Co)	5	Oficial SISS	20
Cloruros (mg/l)	33	Stnd Method	250
Coliformes fecales (NPM/100ml)	< 2	NCh2313 / 22 Of 95	Ausente
Nitrógeno Amoniacal (mg/l)	n.d.	Stnd Method	0,25
SS Totales (mg/l)	0,6	NCh2313 / 3 Of 95	1000
Arsénico (mg/l)	< 0,006	Oficial SISS	0,05
Cadmio (mg/l)	< 0,005	Stnd Method	0,01
Cianuro (mg/l)	< 0,05	Alternativo SISS	0,20
Cobre (mg/l)	0,05	Stnd Method	1,0
Compuestos fenólicos (mg/l)	0,002	Oficial SISS	0,002
Fluor (mg/l)	< 0,1	Oficial SISS	1,5
Hierro (mg/l)	0,08	Oficial SISS	0,3
Magnesio (mg/l)	1,48	Stnd Method	125
Manganeso (mg/l)	0,01	Oficial SISS	0,10
Mercurio (mg/l)	< 0,001	Oficial SISS	0,001
Plomo (mg/l)	0,005	Alternativo SISS	0,05
Selenio (mg/l)	< 0,004	Oficial SISS	0,01
Zinc (mg/l)	0,03	Oficial SISS	5
Sulfatos (mg/l)	n.d.	NCh2313 / 3 18f 97	250
Nitratos (mg/l)	0,23	Stnd Method	10
Nitritos (mg/l)	0,003	Stnd Method	1,0

Universidad de Magallanes / Facultad de Ingeniería / Ingeniería Química

**6. Recomendaciones y Conclusiones**

Previo a la puesta en marcha de la base, se realizará un completo mantenimiento de la planta de tratamiento, que incluye los aireadores, bombas, soportes y otros, para asegurar su correcto funcionamiento, de forma tal que el flujo de aire salga en forma homogénea por los cuatro puntos de aireación.





Se deberá modificar y aumentar el número de soportes en el reactor aeróbico, con la finalidad de aumentar el tiempo de residencia de las burbujas.

Durante la puesta en marcha de la planta, ésta se deberá llenar con agua limpia y alimentada con agua residual sintética, para permitir aumentar la biomasa y generar su funcionamiento correcto. Se recomienda realizar esta actividad una semana antes de la llegada del total de usuarios de la base.

Se realizarán controles de oxígeno disuelto, tomando medidas continuas durante un día de operación de la planta, para verificar que no presente niveles de anoxia que producirían problemas de rendimiento y generación de olores.

Se realizará un programa de capacitación a los funcionarios del INACH encargados de la operación de la Base Escudero, con el objeto que puedan realizar mediciones en terreno y controles *in-situ* para controlar el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento. Este programa considera la normativa y los principios de funcionamiento de la planta de tratamiento, las variables de operación y la solución de problemas y el análisis de pH, oxígeno disuelto, DQO, coliformes fecales y de cloro residual.

Se confeccionará un protocolo de procedimientos con el propósito de reducir el consumo promedio de agua por persona, permitiendo no sólo el buen funcionamiento de la planta de tratamiento, sino también la optimización del agua almacenada en los estanques.

Conjuntamente con el punto anterior, se considerará el uso racional del agua por parte de los usuarios de la Base, debiendo respetar la capacidad instalada o bien disminuir los consumos de agua en la medida que aumenten los usuarios.

Al cerrar la Base, la planta no debe vaciarse inmediatamente, ya que los contaminantes pueden llegar al mar sin un tratamiento previo. Para evitar esto, la planta deberá mantenerse aireada a lo menos tres días después de detenida su alimentación, logrando la degradación de la materia orgánica y la disminución de la biomasa.

No obstante, si en el futuro se requiere aumentar la capacidad de la Base, se deberá considerar el reemplazo o la ampliación de la planta de tratamiento existente, la cual está diseñada para un máximo de 30 personas, con una dotación de 200 lt/hab/día.

Ing. David Doménech Pellegrini