

DIPLOMADO EN ASUNTOS ANTARTICOS 2015
MODULO IV: Aspectos Históricos y Legales del Continente Antártico y Subantártico
GAIA ANTARTICA
UNIVERSIDAD DE MAGALLANES

“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA ANTARTICA”

MONOGRAFIA
OCTUBRE 2015
REV. 0

Francisco Antonio Loyola Lavín
Ingeniero Civil Industrial Mención
Magíster en Ingeniería Mecánica
Académico Universidad de Magallanes
Facultad de Ingeniería Mecánica

Contenido

INTRODUCCION	3
ANTECEDENTES GENERALES.....	4
¿Cómo funciona una planta de tratamiento de aguas servidas?.....	4
CONDICIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA EN LA ANTÁRTICA	6
CARACTERIZACIÓN DE PTAS EN ANTÁRTICA	10
MANTENIMIENTO DE PLANTAS	12
PROBLEMAS EVIDENCIADOS EN PTAS.....	13
CONCLUSION	14
Conclusiones Generales	14
Conclusiones Particulares	14
BIBLIOGRAFIA	15

INTRODUCCION

En Antártica, como resultado de las actividades inherentes que son realizadas en este continente son producidos residuos sólidos y líquidos, que necesariamente deben ser dispuestos y manejados para evitar daños irreparables al ecosistema antártico. La minimización de los impactos en el medio ambiente antártico por causa de eliminación de residuos considera varias alternativas, y de entre ellas la más eficiente es el tratamiento directo de las aguas residuales en plantas y posterior devolución del líquido al medio ambiente. De esta forma, las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) contribuyen significativamente a la conservación del ecosistema antártico.

Aunque la legislación no es totalmente clara en relación a los parámetros de control del agua vertida, la disposición o el tratamiento de líquidos y sólidos, las bases antárticas permanentes de los diferentes países invierten significativos recursos basados en la intención de preservar el ecosistema antártico. Son diversas las complicaciones que implican el diseño, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas servidas: minimizar el impacto al medio ambiente, operar en condiciones confiables y de seguridad y sobre los estándares, y utilizar eficientemente el restringido espacio. A lo anterior, se suman las desfavorables condiciones medioambientales que dificultan el mantenimiento y su frecuencia, ausencia de especialistas, herramientas y repuestos, operación caracterizada por una demanda fluctuante con elevados “peak” en cortos periodos de tiempo.

Las situaciones y condiciones antes mencionadas permiten visualizar que las plantas de tratamientos de aguas servidas en la antártica operan en condiciones singulares en comparación a otras plantas localizadas en territorios no antárticos. En esta monografía se presentan y se discute las condiciones operación y mantenimiento de PTAS en territorio antártico y así analizar las causas de los principales problemas en el funcionamiento de estas.

ANTECEDENTES GENERALES

¿Cómo funciona una planta de tratamiento de aguas servidas?

Los métodos de tratamiento de aguas pueden ser clasificados en mecánicos, físico-químicos y bioquímicos. En general, son utilizadas combinaciones de métodos mecánicos y biológicos, siendo menos usual tratamientos físico-químicos. Para cualquiera de los métodos mencionados, el proceso de tratamiento lleva a la formación de lodo, el cual pasa por procesos básicos que son: desactivación, la desinfección, la deshidratación y desliquisación. En ciertos casos tratamientos adicionales avanzados son aplicados buscando la destrucción de microorganismos patógenos específicos, por ejemplo cuando es exigido altos estándares de purificación del agua.

El **tratamiento mecánico** del agua implica la captación (atrapar) contaminantes no disueltos, mediante filtros y rejillas, receptores de arena, tanques de sedimentación, y en algunos casos separadores específicos, por ejemplo para aceites o resinas. En general, los tratamientos mecánicos reducen la concentración de sustancias suspendidas en un 40-60% lo que reduce la demanda biológica de oxígeno en un 20-40%.

Los métodos de **tratamiento biológicos** poseen una buena relación entre costo y eficiencia, y están basados en la actividad de microorganismos que mineralizan solutos que sirven de fuente para nutrientes. El tratamiento puede ser realizado en condiciones naturales o bajo ambientes artificiales (biofiltros o estanque de aireación). En relación a las condiciones de operación, este método se limita a operar en elevadas temperaturas (sobre los 6 a 10° C) en relación a las temperaturas media que se registran en antártica, conforme se indica en la Tabla 1, siendo necesario sistemas adicionales de acondicionamiento de ambiente.

Tabla 1. Temperatura media en diferentes áreas de la Antártica¹.

Región	Temperatura media en verano [° C]	Temperatura media en invierno [° C]
Costa	0	-18 a -29
Meseta	- 40	-68
Península Antártica	-	-9

Tratamiento de aguas mediante **métodos biológicos** tienen la desventaja de tener bajos tiempos de respuestas por la reducida tasa de crecimiento de microorganismos, en relación a la tasa requerida para flujos de agua residual en tiempos de alta demanda. Por otro lado, tienen la gran ventaja de reducir la DBO en 80-95%, reducciones más efectivas que métodos mecánicos. En tanto, los sistemas basados en tratamientos físico-químicos son menos frecuentes, aunque poseen ciertas ventajas: rápida puesta en marcha y mayor tiempo de respuesta. Las plantas separadoras operan removiendo del agua desechos en forma de líquidos, lodos y sedimentos. También, se eliminan los contaminantes mediante productos destructores que pueden permanecer en el agua sin efectos secundarios significativos. En general, este tipo de plantas utilizan métodos de separación en etapas: flotación, coagulación, sorción y ozonificación. Lógicamente, la purificación en cada una de estas etapas se justifica técnico y económicamente.

El diagrama de flujo de la Fig. 1 proporciona una descripción general del funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas servidas, basado en un enfoque de procesos unitarios. Posterior al tratamiento terciario, siempre que sea justificado, puede ocurrir un tratamiento avanzado que incluye remoción de amoníaco, adsorción con carbón activado granular y filtración con membranas semipermeables. Estos procesos permiten reutilizar el agua para fines recreativos, y domésticos (agua potable).

¹ SCAR sitio oficial (<http://www.scar.org>)

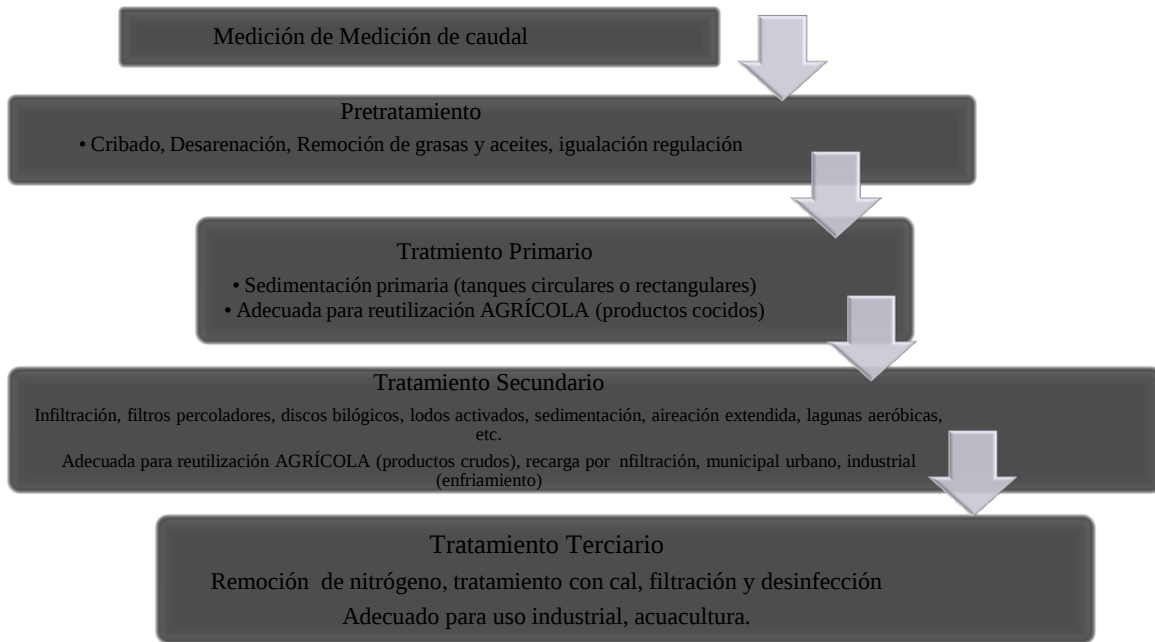


Figura 1. Representación esquemática de los procesos unitarios en PTAS.

CONDICIONES DE TRATAMIENTO DE AGUA EN LA ANTÁRTICA

El agua tratada es clasificada en dos tipos: (i) **agua gris** que se compone agua de lavamanos, cocinas o duchas y (ii) **agua negra** que contiene materias fecales de baños y urinarios. Diariamente, una persona en promedio proporciona al sistema de desechos 1,25 kg de orina y 0,25 en materias fecales. La composición de cada tipo de agua es variable, y su resultado depende de cada base antártica, como lo muestra la Tabla 2 confeccionada a partir de limitada información disponible de agua no tratada en cuatro bases.

Tabla 2. Análisis de aguas residuales sin tratar.

Base	COD [mg/l]	BOD [mg/l]	SS [mg/l]	Cantidad de Amonio [mg/l]
McMurdo	-	159 - 382	43 - 187	-
Molodezhnaya	-	1.200 - 2.300	3.500	-
Scott	-	700	700	-
Wasa	5.800	3.800	1.100	2,3

Se reconoce que el contenido de contaminantes orgánicos en las aguas residuales tiene la tendencia a ser superior en comparación a estándares comunes de PTAS, explicado por la alta carga calórica en la alimentación del personal residente en Antártica. Por otro lado, el abastecimiento de agua es principalmente por derretimiento de nieve o a partir de proceso de desalinización de agua marina, siendo de esta forma diferente en composición y contenido a aguas residuales de PTAS no antárticas. Existen otras situaciones que hacen singulares a las PTAS del continente antártico, las que se mencionan a seguir.

La cantidad de residuos generados dependen de las características propias de cada estación y de la cantidad de personas dentro de la estación, es decir, según la **variación en la población**. La cantidad de residuos líquidos generada esta aproximadamente en proporción uno es a uno con la cantidad de agua consumida por el personal de base, siendo el consumo de agua estimado entre 25 a 200 litro per cápita. Se debe indicar que la cantidad de personas en las bases antárticas son extremadamente fluctuantes, como se indica en la Fig. 2, y por consecuencia la generación de residuos presenta elevados “peak” de en un corto periodo de tiempo.

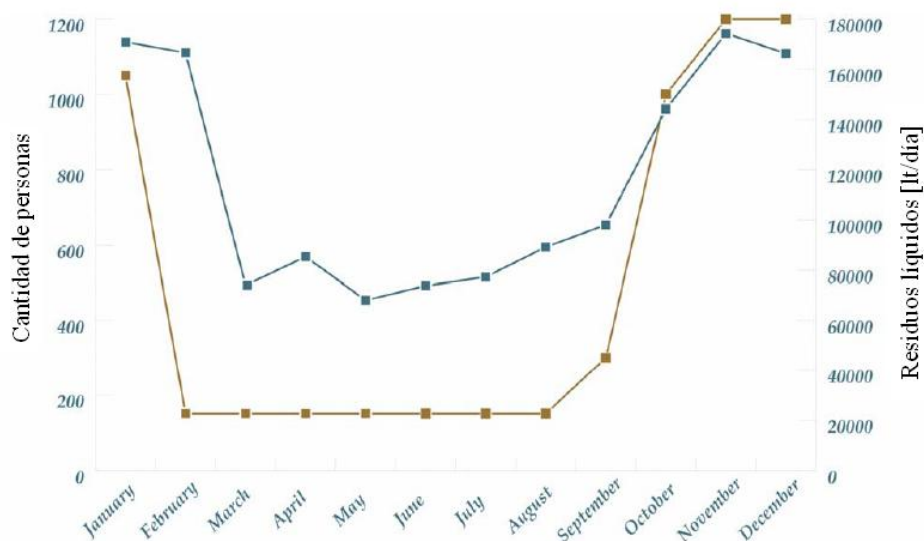


Figura 2. Variación de la cantidad de persona en base.

Así, el diseño de plantas de tratamiento debe considerar las marcadas variaciones en la carga hidráulica asociada con las épocas estivales, y para las variaciones del día a día. También, las PTAS operan en **condiciones climáticas y geográficas extremas**, por ejemplo, bajo condiciones severas de baja temperatura (extremas, ver Tab.1), las cuales varías de forma temporal y según latitud y longitud. Las condiciones de viento también son desfavorables (327 km/h en caso extremos), con presencia de tormentas de nieve lo que obliga a utilizar medios de climatización artificial en cuartos o edificios confinados y auxiliados por sistemas de control de temperatura y humedad, por ejemplo la estación Eduardo Frei, en la Fig. 3.



Figura 3. Planta de tratamiento construida en la Estación Eduardo Frei.

Problemas típicos asociados con las condiciones extremas son congelamiento de tuberías (ver Fig. 4), lo que obliga a efectuar descargas intermitentes para evitar congelamiento y bloqueos del flujo. Por este motivo, en ocasiones es requerido un estanque que actúe de “pulmón”.



Figura 3. Tubería congelada que requiere calentamiento, Estación Progress.

Las **condiciones geográficas** antárticas dificultan significativamente la logística y transporte, y consecuentemente aumentando el costo de construcción y retrasando la puesta en marcha de PTAS. En algunos casos, la ejecución de este tipo de proyectos es costosa e inconveniente, siendo necesario innovar. Por ejemplo, las bases Scott (Nueva Zelanda) y Novolazarevskaya (Rusia) construyeron la PTAS mediante contenedores modulares, los cuales contienen la PTAS ya instaladas en su interior, siendo sólo necesario desembarcarlas, posicionarlas en tierra y conectar los contenedores modulares (Ver Fig. 4).



Figura 4. Estación Novolazarevskaya construida con contenedores modulares.

Adicionalmente, la lejanía con centros urbanos dificulta la disponibilidad de inventarios de repuestos, agilidad en reparaciones correctivas y de emergencia, resultando en que todo lo anterior debe esperar largos periodos para reparaciones adecuadas. Tal situación también se ve amplificada por el limitado espacio en las bases antárticas.

Como consecuencia de las condiciones extremas, particularmente durante estaciones invernales, la operación de PTAS es manejada por personal interno de las bases, que adicionalmente poseen una extensa lista de actividades para realizar. No siempre, se cuenta con el personal idóneo para la realización de tareas, se presenta como ejemplo la PTAS de la estación chilena, la cual era

monitoreada por el médico de la base². Por otro lado, en antártica las fuentes de energía eléctrica son escasas, y se basa en generadores diesel. Alternativamente, se utiliza energía solar y eólica. De esta forma una falla en el sistema de abastecimiento de energía implica instantáneamente la detención de la PTAS, en ocasiones con daños irreversible, como la muerte de microorganismos. Se recomienda que PTAS funciones con sistemas de respaldo de energía.

CARACTERIZACIÓN DE PTAS EN ANTÁRTICA

En el continente Antártico existen más de 60 bases permanentes, algunas con personal variando entre 10 a 1.000 personas. Dada esta situación, sumando a los factores comentados en los ítems anteriores, cada planta fue diseñada con parámetros diferentes. La Tabla 3 muestra parámetros de diseño de 3 bases antárticas.

Tabla 3. Características de diseño para el agua sin tratar.

País	COD [mg/l]	BOD [mg/l]	SS [mg/l]	Cantidad de Amonio [mg/l]
Republica Checa	300	400	367	-
China (Zhong Shan)	<450	<250	<200	<25
China (Domo A)	8 - 120	30 -50	40 - 60	5

De esta Tabla se desprende la divergencia en los parámetros utilizados en el diseño de las plantas. En otras palabras, cada planta considera diferentes parámetros de las aguas residuales en la entrada del proceso. Adicionalmente, cada planta posee diferentes parámetros de diseño para la salida de proceso, como lo indica la Tabla 4. La mayoría de estas plantas operan con sistemas biológicos.

² Report of the United States Antarctic Inspection, 2011.

Tabla 4. Diseño nominal para el estándar de calidad de aguas residuales.

País	COD [mg/l]	BOD [mg/l]	SS [mg/l]	Coliformes [cfu/100 ml]
China (Zhong Shan)	<20	<5	0	<3
China (Domo A)	<4	<3	<2	-
Alemania	-	50	100	200
India	-	<20	<20	<200
Corea del Norte	-	<50	<50	<250
Nueva Zelanda	-	<30	<30	<200
Noruega	<30	<20	-	-
USA	-	30	30	200

Para el caso particular de una planta chilena, se describe la PTAS de la base Frei, donde las aguas son tratadas en cámaras anaeróbicas utilizando una técnica denominada lombricultura, método desarrollado por el académico José Tohá Castellá. El método permite depurar 37.500 litros por día, equivalente a 250 personas. Este método depura el agua residual mediante filtro percolador formado por diferentes estratos filtrantes y lombrices, las que se alimentan de la materia orgánica, Fig. 5.

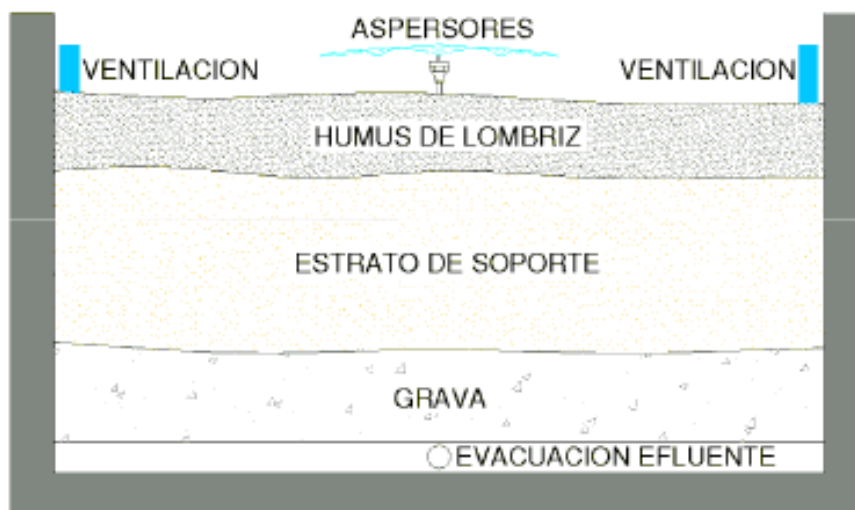


Figura 5. Estructura del biofiltro en el método Tohá.

MANTENIMIENTO DE PLANTAS

El mantenimiento a PTAS típicamente tiene dos finalidades: prevenir fallas y conservación del rendimiento de la depuración, y para ellos se realizan actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo. Un análisis de manuales y estudios disponibles en la literatura indican que la mayoría de las tareas son de carácter preventivo, las cuales realizadas adecuadamente permiten obtener una alta disponibilidad en el funcionamiento de la planta. Las actividades de mantenimiento preventivo son simples, y no requieren mayor especialización en el personal, por ejemplo:

Tabla 6. Actividades para el mantenimiento a tuberías de distribución en PTAS.

Actividad	Frecuencia	Responsable/ Requerimientos
Inspeccionar el estado de las tuberías de distribución en la entrada de la planta para evitar obstrucciones en el sistema.	Diaria	Operador
Retirar los sólidos que obstruyan el paso del agua residual.	Diaria	Palas, rastrillos
Mantenimiento y limpieza de tuberías	Mensual	Tirabuzón
Verificar el estado de las compuertas de acceso a la planta de tratamiento.	Semanal	Operador
Lubricación de compuertas y accesorios	Semestral	Lubricante

El mantenimiento correctivo puede ser evitado en gran medida mediante el cumplimiento y aplicación correcta de los planes de mantenimiento. De esta forma, se minimizan las reparaciones mayores y daños que sufran los equipos o componentes del sistema de tratamiento de aguas residuales, lo cual ocasiona situaciones de emergencia y requerimientos de personal especializado. Mantenimiento predictivo es raramente utilizado, aunque un ejemplo sería la utilización de técnicas de ferrografía para evaluar el estado de la cañerías, aunque eventualmente esto puede realizarse una vez al año, sin necesidad de detenciones.

PROBLEMAS EVIDENCIADOS EN PTAS

Recientemente, la investigación de dos académicas de la universidad de Magallanes, Nancy Calisto y Claudio Gomez, quienes monitorearon las descargas de efluentes de 9 PTAS, evidenciaron deficiencias en los estándares de descargas de agua, que presentaron valores significativos de coliformes fecales por cada 100 mililitros. Según estos autores, lo principales problemas que ellos evidenciaron fueron:

- Inadecuada respuesta de las PTAS con aumento de personal.
- Mantenimiento irregular y efectuado sólo en periodo de verano.
- Ausencia de personal calificado para reparaciones y monitoreo.
- PTAS operando en condiciones fuera de diseño.
- Indisponibilidad en la información de monitoreo de las estaciones.

Frente a esta problemáticas, ellos recomiendan tres medidas:

1. Monitoreo adecuado de las PTAS con parámetros claros que indiquen el impacto al medio ambiente.
2. Capacitación al personal de operaciones y,
3. Intercambio de información entre las PTAS para uniformizar estándares.

CONCLUSION

Conclusiones Generales

En base a los antecedentes recopilados, se evidencia que:

1. Las PTAS de la Antártica operan en condiciones singulares en comparación a otras PTAS que operan fuera de la antártica. Os principales factores que permiten esta condición son: fluctuaciones en la cantidad de personas, condiciones geográficas y climáticas extremas y distintas condiciones de entrada del agua a tratar.
2. Existen evidencias que indican que el personal que opera las PTAS no es el adecuado. Esto se agravia considerando la lejanía de centros urbanos.
3. También, se ha evidenciado operación de las PTAS fuera de los límites de diseño.
4. Se han verificado condiciones de operación bajo los estándares adecuados, evidenciado con las investigaciones de los académicos Nancy Calisto y Claudio Gomez.

Conclusiones Particulares

1. Con base en las actividades de mantenimiento recopilada en diversos manuales y tesis, se observa que el mantenimiento preventivo de PTAS es simple, y no requiere de personal con alto grado de calificación.
2. Se atribuyen las fallas que han presentado las PTAS principalmente al mantenimiento inexistente y a problemas en la operación. En caso de efectuar un mínimo de mantenimiento, teóricamente las no-funcionalidades deberían disminuir.
3. Conforme a lo mencionado por los investigadores Calisto y Gomez, no existen parámetros uniformes de calidad estándar entre las PTAS, en caso de que existiese, minimizaría los impactos sobre el ambiente en Antártica.

BIBLIOGRAFIA

Tarasenko, Sergey. 2008. Wastewater Treatment in Antarctica.

Manual de procedimientos, 2013. Operación y procedimientos de plantas de tratamientos de aguas residuales con el proceso de lodo activado.

Benavides, Eduardo. 2009. GESTION DE MANTENIMIENTO EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE PRODUCTOS EFE S.A.

Ingeniería de aguas residuales, Wikilibros.
https://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales

Report of the United States Antarctic Inspection, 2011. Team Report

Grand Wastewater Designs, 2013. Australian Antarctic Magazine.

Recycling waste water in Antarctica, 2014. Report Victoria University.

Tratamiento de Aguas Servidas para Base Aérea de la Antártica, 2010.
Artículo <http://www.aprchile.cl/>