

# ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL - AIDIS



## XXX CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

26 al 30 de noviembre de 2006  
Conrad Resort & Casino  
Punta del Este - Uruguay

### IV-Gross-Uruguay-2

## DESARROLLO DE SOLUCIONES MODULARES TRANSPORTABLES PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA Y TRATAMIENTO DE EFLUENTES CON USO DE TECNOLOGÍAS AVANZADAS

#### **Francisco Gross\***

Ingeniero Civil Op. Hidráulica y Sanitaria por la UdelaR, egresado en 1983 y con estudios de postgrado en Montevideo y Suecia. Desde 1985 es Profesor Adjunto Responsable de cursos de diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, IMFIA. Desde 1990 es Socio-Director de SEINCO S.R.L., habiendo participado activamente en la coordinación y ejecución de numerosos proyectos en el área hidráulico-sanitaria, tratamiento de agua y efluentes domésticos e industriales.

#### **Guillermo Fuica**

Ingeniero Civil Op. Hidráulica y Sanitaria por la UdelaR, egresado en 1993. Durante el periodo 2000 - 2004 fue Jefe de Estaciones y de Operaciones en Uragua, Concesionario de agua en Maldonado. Ingeniero de la consultora SEINCO S.R.L desde 2005. Responsable de Área de Desarrollo de Negocios. Encargado del área Técnica Comercial de la firma. Asesoramiento técnico en soluciones de tratamiento de agua potable y efluentes. Encargado del desarrollo de nuevos productos en la línea de estaciones de tratamiento modulares.

#### **Ana Laura Pereyra**

Ingeniera Civil Op. Hidráulica y Ambiental por la UdelaR, egresada en 2004. Ingeniera de la consultora SEINCO S.R.L. desde 2004. Responsable del Departamento de Propuestas. Desarrollo de propuestas técnicas y económicas de soluciones de tratamiento de agua y efluentes en modalidad de suministro de planta modular transportable, y en modalidad de proyectos llave en mano. Integra el equipo de trabajo de desarrollo de nuevos productos.

#### **Alberto Bracho**

Ingeniero Civil Op. Hidráulica y Ambiental por la Universidad de la República Oriental del Uruguay (UdelaR), egresado en 2005. Ingeniero de la consultora SEINCO S.R.L desde 2005, desempeñándose en el Departamento de Propuestas. Desarrollo de propuestas técnicas y económicas de soluciones de tratamiento de agua y efluentes. Integra el equipo de trabajo de desarrollo de nuevos productos.

**Dirección\*:** Itzaingó 1256 – Montevideo – 11000 – Uruguay - Tel: (+598) 2 9161565 - Fax: (+598) 2 9163962 - e-Mail: [fgross@seinco.com.uy](mailto:fgross@seinco.com.uy)

## RESUMEN

El trabajo expone la estrategia de desarrollo de soluciones de tratamiento, tanto de agua potable como de efluentes, en unidades modulares prefabricadas, compactas y transportables, mediante aplicación de tecnologías avanzadas dando lugar a soluciones costo-eficientes y competitivas aplicables a poblaciones de 25 a 100.000 habitantes y/o industrias. Dicha estrategia se basa en el desarrollo de diseños volumen-intensivos, con aplicación de tecnologías avanzadas, empleando materiales calificados que optimicen la relación durabilidad-costo de cada solución.

Se destaca la aplicación de la tecnología de clarificación mediante flotación por aire disuelto (DAF) por ser altamente eficiente en remoción de sólidos y carga orgánica, y por el menor requerimiento de área que involucra este proceso en comparación con un proceso típico de sedimentación. Se identifica el Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio con sistema Pultrurado, como material alternativo al acero inoxidable para la construcción de las estaciones de tratamiento, destacándose por su precio (25% menos que la solución en AISI 304), menor peso de la unidad (75% menor), elevada resistencia y durabilidad del material.

A partir de modelos de cálculo, parametrización y diseño se desarrollan las siguientes soluciones atendiendo a la demanda de mercado identificada: Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETA) modular autolavable, con tecnología DAF, desarrollada para caudales de producción desde 10 a 650 m<sup>3</sup>/h (1.600 a 104.000 habitantes); Estación de Tratamiento de Efluentes (ETE) mediante fosa séptica y filtración biológica (FSFB), atendiendo a poblaciones menores a los 200 habitantes; Estación de Tratamiento de Efluentes mediante proceso de lodos activados y digestión aerobia (LADA), adecuada para atender poblaciones comprendidas entre 250 y 2.000 habitantes; Estación de Tratamiento de Efluentes mediante filtración biológica y tecnología DAF (FB-DAF), desarrollada para poblaciones entre 2.000 y 80.000 habitantes; Unidad de Tratamiento Físico Químico de efluentes (UTFQ) mediante flotación por aire disuelto (DAF), desarrollada básicamente para su aplicación en el área industrial tanto para la reutilización del efluente, y recuperación de materia prima, como para la mejora de sistemas existentes de tratamiento que operan sobrecargados.

### **Planta Tratamiento, Agua Potable, Efluentes, Modular, Transportable**

## INTRODUCCIÓN

El trabajo expone la estrategia de desarrollo de soluciones de tratamiento, tanto de agua potable como de efluentes, en unidades modulares prefabricadas, compactas y transportables, mediante aplicación de tecnologías avanzadas dando lugar a soluciones costo-eficientes y competitivas aplicables a poblaciones de 25 a 100.000 habitantes y/o industrias.

El desarrollo de dichas soluciones surge a partir de la identificación de una demanda insatisfecha en soluciones de tratamiento para ese sector de la población y del mercado, donde se requieren sistemas de bajo costo de inversión, y simplicidad de instalación, puesta en marcha y operación.

## OBJETIVOS

El objetivo planteado es el desarrollo de soluciones costo-eficientes de tratamiento de agua y efluentes atendiendo los siguientes aspectos:

- Tecnológico: empleo de tecnologías que permitan concebir soluciones con la mínima ocupación de espacio. Unidades compactas y transportables.
- Estratégico Comercial: concepción de soluciones para satisfacer una demanda en un sector de la población y del mercado.
- Búsqueda de materiales alternativos al acero, con mejor relación durabilidad-costos y que permita una disminución considerable del peso total de las unidades.
- Optimización del proceso de fabricación, mediante línea de ensamblado en fábrica y producción en serie.
- Minimización del tiempo de implantación en sitio de las unidades.

## METODOLOGÍA EMPLEADA

- a) Identificación de las características del sector de población y mercado que demanda el uso de soluciones modulares transportables en tratamiento de agua y efluentes.
- b) Identificación de tecnologías que resulten eficientes en términos de tratamiento (alta eficiencia en remoción de sólidos y/o carga orgánica) y cuyos diseños sean volumen-intensivos.

- c) Selección de la tecnología aplicable, en función de las características del mercado demandante (numero de habitantes, tipo de industria, etc.).
- d) Identificación de las unidades de tratamiento a desarrollar.
- e) Identificación de los requerimientos dimensionales para el transporte de las unidades (terrestre y marítimo).
- f) Identificación de materiales alternativos al acero para la construcción de la estructura de las unidades. Análisis de durabilidad, costo, peso y resistencia.
- g) Cálculo y diseño de las unidades. Estandarización y parametrización en función del caudal.

## **ACTIVIDADES DESARROLLADAS**

### **Identificación del sector de población y mercado demandante**

En la actualidad, el proveer soluciones de tratamiento de agua y/o de efluentes a poblaciones y/o industrias carentes de ella es una necesidad a satisfacer, que atiende en primera instancia a exigencias sanitarias y ambientales.

En lo que a suministro de agua potable refiere, se identifica una demanda de mercado en soluciones de tratamiento eficientes, que brinden garantía en la calidad del agua tratada aún en condiciones variables de calidad del agua bruta, que minimicen el volumen ocupado por la solución a implantar, que presente simplicidad de instalación y operación, y que la solución admita modulación o etapabilización acompañando condiciones crecientes de demanda y disponibilidad de fondos de inversión. En general se identifica que el sector carente de este servicio son poblaciones de pequeño y mediano porte, entre 2.000 y 80.000 habitantes, donde resulta ventajoso el suministro de soluciones prefabricadas, de fácil implantación en sitio y mínima obra civil, lo que minimiza los tiempos de ejecución.

Referente a soluciones de tratamiento de efluentes de origen doméstico, se identifican tres grandes grupos (en lo que a tamaño de población refiere), que demandan sistemas concebidos en modalidad prefabricada y modular:

- o Conjuntos habitacionales, grupo de viviendas, country, y pequeñas instalaciones de tipo industrial, donde la población de aporte es menor a 200 habitantes.
- o Complejos turísticos, hoteles, instalaciones industriales con alto número de personal, instalaciones provisorias de grandes obras, etc., donde la población de aporte de efluentes está comprendida en el rango de 250 a 2000 habitantes.
- o Pequeñas y medianas poblaciones que en la actualidad no cuentan con sistema apropiado de tratamiento de sus efluentes, o que dicho sistema es insuficiente a la fecha para el aporte que recibe; se trata básicamente de poblaciones entre 2.000 y 80.000 habitantes.

Para poblaciones mayores se identifican las soluciones de tratamiento construidas en sitio (hormigón armado o prefabricado) como alternativa muy competitiva, lo que determina el empleo de soluciones de tratamiento prefabricadas sólo en casos especiales donde por ejemplo el tiempo de ejecución es una limitante.

En el área industrial, por su parte, la fuerte demanda en tecnología de tratamiento viene dada por las siguientes necesidades:

- o Reaprovechamiento o re-uso del efluente, para su aplicación en el propio proceso industrial.
- o Recuperación de materia prima (por ejemplo, recuperación de fibras en la industria del papel, recuperación de grasas en frigorífico, etc.).
- o Mejora del sistema de tratamiento de los efluentes industriales, en lo que respecta a capacidad y calidad del efluente de salida.

### **Identificación de tecnologías eficientes para diseños volumen-intensivos**

El primer punto a considerar en la búsqueda de soluciones costo-eficientes de tratamiento de agua o efluentes consiste en el uso de tecnologías eficientes, que permita alcanzar los resultados deseados con mínimo requerimiento de volumen.

La tecnología de clarificación mediante flotación por aire disuelto (DAF) se destaca en este aspecto, puesto que, por un lado es altamente eficiente en remoción de sólidos y carga orgánica (mayor al 90% en remoción de sólidos, y mayor que 70% en DBO) y por otro lado presenta velocidad de flotación superior a las velocidades típicas de sedimentación (5 a 10 veces superior), traduciéndose

en una importante reducción del área requerida para el proceso de clarificación. Otro punto destacable es la obtención de un lodo flotado con mayor concentración que en procesos convencionales (concentraciones del 3% al 10%), lo que facilita procesos posteriores de tratamiento de lodos o disposición final, así como su recuperación como materia prima.

Esta tecnología puede ser utilizada como tratamiento primario avanzado: en el caso de efluentes domésticos como tratamiento previo a procesos de tratamiento biológico para el diseño de sistemas más compactos, de menor costo de inversión, y energéticamente más eficientes ó como post-tratamiento para la recuperación de la calidad de los efluentes en instalaciones existentes sobrecargadas. Asimismo, en el caso de efluentes industriales, puede ser utilizada como tratamiento primario avanzado para la reducción de la carga orgánica contaminante y la recuperación de materias primas. Es aplicable también en tratamientos biológicos de alta tasa, incorporando esta tecnología para la clarificación del efluente posterior a filtros biológicos de alta tasa o sistemas MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor); así como en tratamientos terciarios, mediante la remoción de fósforo.

Con respecto a procesos de tratamiento de efluentes que respondan a diseños volumen-intensivos, se identifica el tratamiento biológico de alta tasa aplicado a la fracción soluble de la carga orgánica presente en el afluente, seguido de proceso de clarificación para remoción de la fracción particulada. Bajo esta concepción es posible obtener diseños optimizados en la relación volumen de la unidad - población a atender, con niveles de calidad en el efluente salida apropiados para vertido a curso de agua.

En tratamiento de agua potable, la tecnología DAF es utilizada para la clarificación del agua floculada, como proceso intensivo y de mínimo requerimiento de volumen en comparación con proceso convencional de sedimentación, con la ventaja adicional de poder disponer tal proceso en forma superpuesta a la filtración rápida.

### **Selección de tecnologías aplicables en función de las características del sector demandante**

Se realizó el análisis y aplicación de combinación de procesos y tecnologías para generar sistemas de tratamiento eficientes que sean compatibles con el desarrollo de unidades compactas y modulares.

Se utilizó la tecnología DAF (clarificación mediante flotación por aire disuelto) como proceso de tratamiento clave y destacable por sus resultados (eficiencia en remoción de sólidos y/o flóculos orgánicos o inorgánicos, con mínimo requerimiento de superficie en comparación con la sedimentación).

Los criterios de diseño y selección aplicados y el enfoque de estos desarrollos estuvieron basados en las siguientes características fundamentales:

- la tecnología de aplicación y el diseño debe representar una ventaja notoria en términos de eficiencia en el tratamiento, al tiempo de optimizar el volumen requerido para llevar a cabo los procesos de tratamiento;
- la solución o producto final debe destacarse por sus ventajas económicas (bajo costo de inversión y de operación), así como por su facilidad de transporte, e instalación en sitio.

Bajo estas consideraciones se plantea la aplicación de los siguientes grupos de procesos para las diferentes aplicaciones, con una concepción de desarrollo en forma integrada en una única unidad o celda:

- a) Tratamiento de agua potable
  - Coagulación en línea, floculación hidráulica o mecánica, clarificación por flotación con aire disuelto y filtración en medio de arena para el proceso de potabilización de agua (desinfección fuera de la unidad).
- b) Tratamiento de efluentes
  - Retención y acumulación de sólidos y flotantes, tratamiento biológico mediante filtración en lecho fijo, sedimentación, recirculación del efluente, y desinfección final.
  - Tratamiento biológico de lodos activados, sedimentación, recirculación y purga de lodos, digestión aerobia de lodos, y desinfección final del efluente.

- Tratamiento biológico en filtro de lecho fijo, seguido de coagulación, floculación y clarificación mediante flotación por aire disuelto.

#### **Identificación de las unidades de tratamiento a desarrollar**

En función de las características del líquido a tratar (agua bruta, efluente doméstico o industrial), del tamaño de la población a servir, de la aplicación particular y de la selección de tecnologías de tratamiento, se desarrollaron las siguientes unidades:

- Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETA) modular autolavable, con clarificación mediante flotación por aire disuelto.
- Estación de Tratamiento de Efluentes (ETE) mediante fosa séptica y filtración biológica (FSFB).
- Estación de Tratamiento de Efluentes (ETE) mediante proceso de lodos activados y digestión aerobia (LADA).
- Estación de Tratamiento de Efluentes (ETE) mediante filtración biológica y tratamiento físico químico (FB-DAF).
- Unidad de Tratamiento Físico Químico de efluentes (UTFQ) mediante flotación por aire disuelto (DAF).

#### **Identificación y análisis de los requerimientos dimensionales para el transporte de las unidades**

Se identifican las características y dimensiones limitantes en el diseño de las unidades de tratamiento en lo que respecta a su transporte por vía marítima y/o terrestre. Las condiciones dimensionales a cumplir se relacionan directamente con la optimización de costos de transporte, al tiempo de atender las condiciones generales establecidas en el transporte internacional de carga.

En el caso del transporte marítimo, el factor fundamental a considerar en el diseño se basa en que la unidad de tratamiento sea contenible, y manipulable para la carga y descarga, en el interior de un contenedor marítimo estándar de 20 ó 40 pies, cuyas dimensiones interiores son (ancho, altura, largo) 2.35 m x 2.39 m x 5.90 m (20 pies) ó 2.35 x 2.39 x 12.03 m (40 pies). En este caso resulta antieconómico el transporte de la estación de tratamiento como contenedor en sí mismo, puesto que, aún respetando las dimensiones exactas de un contenedor estándar, las empresas navieras aplican sobre costo por transporte especial (correspondiente al acopio de 2 ó 3 contenedores que podrían ser transportados sobre este "contenedor no estándar" y el hecho de presentar características especiales lo impiden).

Para el caso del transporte terrestre la unidad puede ser transportada y manipulada como contenedor en sí mismo, rigiendo las limitaciones de altura para transporte carretero internacional (4,10 m altura total desde el piso), resultando conveniente no sobrepasar la altura máxima del contenedor de 2,70 m.

A partir de este análisis, resulta conveniente el desarrollo de las unidades cuyas dimensiones exteriores respeten como máximo las siguientes: 5.90 m ó 11.90 m de largo (para transporte en contenedor de 20 pies ó 40 pies, respectivamente), 2.20 m de ancho, 2.05 m de altura. La limitación en altura se relaciona con la modalidad de carga y manipulación de la unidad de tratamiento en el interior del contenedor marítimo (deslizamiento sobre rodillos). Sin embargo, es posible desarrollar unidades de tratamiento de mayor altura en las siguientes modalidades: extensión de altura mediante acople de anillo superior (en este caso una unidad de tratamiento es transportada en dos contenedores marítimos y encolado en sitio); extensión de altura mediante desarrollo telescópico en un máximo de 0.5 m de altura.

#### **Identificación de materiales alternativos al acero. Análisis de durabilidad, costo, peso y resistencia.**

Las principales características requeridas para el material a emplear en la estructura de las estaciones de tratamiento se basan en la resistencia del mismo (mecánica, química, a la radiación UV, etc.); pero también es muy importante el peso de la estructura, y la relación costo-durabilidad que presenta el material.

El material por excelencia para su aplicación en agua potable y/o tratamiento de efluentes es el acero inoxidable por sus características notables en lo que refiere a resistencia y durabilidad, sin

embargo el elevado costo y la inestabilidad del precio de este material en el mercado hacen necesario la búsqueda de materiales alternativos para su empleo en esta aplicación.

El acero inoxidable normalmente usado es el AISI 304, que es un acero austenítico compuesto por aleaciones de hierro, carbono, cromo (18%), níquel (8%) con aporte de otros elementos. Presenta excelente resistencia a la oxidación, alto grado de ductilidad, formabilidad, y tenacidad, es esencialmente no magnético en estado recocido y sólo puede endurecerse en frío; sus propiedades mecánicas, físicas y químicas lo vuelven un excelente material para su aplicación en estructuras en contacto con agua y en exposición a la intemperie. La densidad del material es  $7800 \text{ kg/m}^3$ .

Para el desarrollo de las estaciones de tratamiento tipo container, el material alternativo analizado es el Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio, Pultrurado (PRFV-P), que es un compuesto constituido por una matriz polimérica reforzada con fibras de vidrio, elaborado mediante proceso de pultrusión.

Los perfiles y placas construidos mediante sistema pultrurado utilizan resinas termo-fijas que contienen cargas y aditivos específicos (compuestos resinados) y refuerzos flexibles de fibra (roving o manta) que producen un material estructural altamente reforzado, con desempeño comparable a los materiales convencionales.

En el sistema pultrurado se utilizan:

- Resinas termo-fijas (isofálticas, ester-vinílica, epoxi o fenólica) simples o combinadas.
- Catalizadores (peróxidos)
- Cargas sólidas y aditivos (carbonato de calcio, aditivo anti-UV y anti-llama)
- Desmoldante
- Mantas de Fibra de Vidrio (para resistencia transversal de los perfiles)
- Roving o manta (filamento continuo, para resistencia transversal de los perfiles)
- Pigmentos

La resistencia de una pieza en PRFV esta dictada básicamente por el tipo, cantidad, orientación y posición de los refuerzos de fibra de vidrio de la matriz polimérica. Esta matriz es básicamente una resina aditivada que mantiene los refuerzos ligados, proporcionando la debida rigidez al sistema. El tipo de resina utilizado es la que determina las propiedades de resistencia y corrosión, la temperatura máxima de operación, así como contribuye significativamente para ciertas características de resistencia mecánica de las piezas, como al impacto y fatiga.

Las placas utilizadas para conformar el cuerpo de las Estaciones de Tratamiento poseen cálculos estructurales para resistir cargas de 4 toneladas por  $\text{m}^2$ . La densidad del material es  $2000 \text{ kg/m}^3$ .

Las principales características del material pultrurado son las siguientes:

- No conductor (excelente aislante eléctrico)
- Bajo peso (75% menor que el acero inoxidable y 30% menor que el aluminio)
- No metálico (ideal para ambientes sensibles a la acción magnética)
- Propiedades de absorción a impactos
- Elevada resistencia a corrosión (agentes químicos agresivos y salinidad marítima)
- Gran estabilidad dimensional (bajo coeficiente de expansión térmica)
- Alta resistencia mecánica (similar al acero)
- Excelente acabado superficial (puede ser pigmentado o pintado)
- Auto-extinguible
- De fácil instalación
- No higroscópico (sin porosidad)
- No afecta características del agua (sabor y olor)

En lo que a análisis económico refiere la solución en PRFV-P resulta ventajosa: el precio de suministro y construcción de la cuba para las estaciones de tratamiento en PRFV-P representa menos de un 75% del precio de la misma solución construida en AISI 304.

Para el desarrollo de las estaciones de tratamiento cilíndricas, el material alternativo analizado es el Polietileno Rotomoldeado (PR). El polietileno es químicamente el polímero más simple, se obtiene

de la polimerización del etileno. El polietileno de alta densidad tiene bajo nivel de ramificaciones en su estructura, siendo su densidad menor o igual a  $940 \text{ kg/m}^3$ .

El proceso por rotomoldeo consiste en cargar un molde hueco, hecho a medida, con material plástico en forma de polvo ó líquido. El producto es formado en el interior de un molde que gira biaxialmente dentro de una cámara caliente.

Las principales características del polietileno construido por rotomoldeo son las siguientes:

- Resistente a temperaturas medias (agua bruta o efluentes domésticos);
- Alta resistencia a la tensión, compresión, tracción;
- Baja densidad en comparación con acero y PRVF;
- Impermeable;
- Inerte al contenido, baja reactividad;
- No tóxico

### **Cálculo y diseño de las unidades. Estandarización y parametrización en función del caudal.**

Una vez identificado los procesos, tipo de unidades de tratamiento a desarrollar, características dimensionales a considerar, se realiza el cálculo y diseño de las estaciones parametrizando en función del caudal. Se desarrollan modelos de cálculo estandarizados cuyas variables de entrada son la caracterización del agua o efluente bruto (caudal ó número de habitantes y dotación por habitante, carga orgánica, sólidos de aporte por habitante), y el resultado de cálculo son el número y dimensiones de la estación de tratamiento, y la caracterización del efluente esperado a la salida de la misma.

El criterio para la parametrización es abarcar un rango completo de caudales que sean tratables en unidades transportables, mediante variaciones dentro de los límites admisibles de las variables de diseño (tiempo de retención hidráulico y celular, tasa de flotación, carga orgánica volumétrica, etc.). A modo de ejemplo, la unidad de tratamiento físico-químico DAF se desarrolla para caudales de tratamiento de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, y  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ . La unidad DAF- $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , que admite caudales de tratamiento comprendidos entre 80 y  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , representa la unidad máxima transportable bajo este diseño (contenedor de 40 pies); el caudal máximo que admite se diseña bajo las condiciones más exigentes (tasa de flotación máxima y tiempo de retención hidráulico mínimo en el floculador), y se verifica que los parámetros de diseño resulten admisibles en condiciones de caudal mínimo de  $80 \text{ m}^3/\text{h}$ .

## **RESULTADOS OBTENIDOS**

Se presentan los resultados obtenidos en forma particular para cada una de las estaciones de tratamiento desarrolladas:

### **Estación de tratamiento de agua (ETA) modular autolavable**

La ETA se desarrolla en dos variantes: módulos cilíndricos y modulo rectangular tipo container con celdas interconectadas.

La compacidad de la ETA se basa principalmente en el uso de la tecnología avanzada DAF, pero además se destacan la superposición de los procesos de flotación y filtración (el floc asciende y el agua clarificada desciende pasando por el filtro), y el desarrollo en forma integrada de los recintos para floculación y mezcla rápida del agua saturada despresurizada.

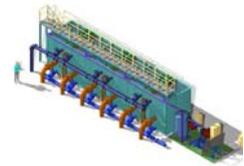
Las unidades son autolavables: el lavado es secuencial procediendo a detener el ingreso de agua bruta y a admitir agua procedente de las restantes celdas (lavado a través de la carga hidráulica). Todo el sistema es totalmente automatizado, pudiendo ser controlado a distancia.

Los caudales de producción para la ETA cilíndrica son de 10 a  $150 \text{ m}^3/\text{h}$  (1.600 a 24.000 habitantes). Para caudales pequeños (hasta  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ ) la ETA se compone de módulos de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  cada uno: en cada módulo se desarrollan los procesos de floculación, clarificación por flotación, y filtración en medio de arena, siendo el sistema de lavado de filtros mediante tanque superior. Para caudales mayores a  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ , la ETA cilíndrica es autolavable puesto que se compone de 5 módulos interconectados: en uno de ellos tiene lugar la coagulación y floculación mecánica y en los restantes 4 módulos se desarrollan los procesos de clarificación por flotación con aire disuelto y filtración en medio de arena.



La estación menor (10 m<sup>3</sup>/h) es transportable en forma horizontal en un contenedor de 20 pies (1 módulo de 1.26 m de diámetro y 4.5 m de altura); mientras que la estación más grande (150 m<sup>3</sup>/h) es transportable en dos contenedores de 40 pies (5 módulos de 2,39 m de diámetro y 3,6 m de altura). El material por excelencia para estas unidades es el acero inoxidable AISI 304; como alternativa económica se desarrollan los módulos en Poliéster Reforzado construidos por Rotomoldeo.

La ETA rectangular se compone de uno o más módulos, subdividido en un mínimo de 6 celdas que se intercomunican: en cada una de esas celdas tienen lugar la totalidad de los procesos (floculación hidráulica, clarificación por flotación y filtración en medio de arena). Los caudales de producción son de 100 a 650 m<sup>3</sup>/h (16.000 a 104.000 habitantes).

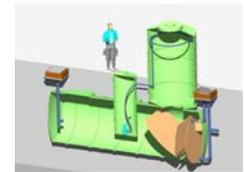


La ETA rectangular menor es transportable en 2 contenedores marítimos de 20 pies, con anillo superior a encolar en sitio (un módulo de 5,9 m de largo x 2,20 m de ancho y 3,0 m de altura). La ETA de 650 m<sup>3</sup>/h consta de 3 módulos de 11,90 m de largo x 2,20 m de ancho x 3,0 m de altura (transporte marítimo en 5 contenedores de 40 pies). El módulo es construido con estructura en placas y perfiles de PRFV-P (poliéster reforzado con fibra de vidrio con sistema purlltrurado), siendo ésta una variante económica al AISI 304.

#### **Estación de Tratamiento de Efluentes (ETE) mediante fosa séptica y filtro biológico**

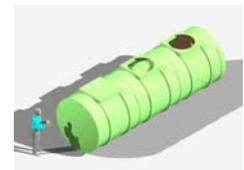
La ETE se desarrolla para atender pequeñas poblaciones, entre 25 y 200 habitantes o su equivalente en carga orgánica.

La ETE se compone de piezas cilíndricas, donde tienen lugar los siguientes procesos: tratamiento primario en fosa séptica para remoción inicial de sólidos suspendidos y flotantes, tratamiento aerobio en filtro biológico de lecho percolador para la degradación de la fracción soluble de la carga orgánica afluente, sedimentación secundaria y desinfección final del efluente.



La unidad es compacta: la cámara de recirculación, el sedimentador secundario y la cámara de contacto están integrados a la unidad principal; el filtro biológico se dispone sobre la unidad base de forma tal que el efluente filtrado pasa directamente al sedimentador.

La unidad es fácilmente transportable directamente sobre camión o en contenedor marítimo: la ETE más pequeña (25 habitantes) se acondiciona para ser transportada en un único cilindro de 4,0 m de largo y 2,0 m de diámetro, mientras que el módulo más grande (200) es embalado y acondicionado para transportarse en dos cilindro de 10,0 m de largo y 2,0 m de diámetro.

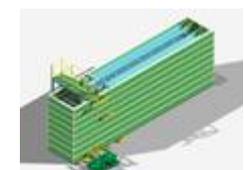


La ETE es desarrollada para su construcción en Polietileno mediante sistema de rotomoldeo (PR).

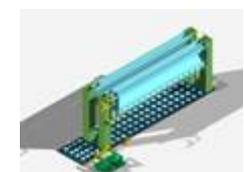
#### **Estación de Tratamiento de Efluentes (ETE) mediante lodos activados y digestión aerobia**

La ETE fue diseñada para tratar los efluentes de poblaciones comprendidas entre 250 y 2.000 habitantes o su equivalente en carga orgánica.

El proceso completo de tratamiento se realiza en un único módulo, con ancho fijo (2,20 m), largo variable hasta un máximo de 11,9 m, lo que permite transportarla en el interior de un contenedor marítimo (20 o 40 pies). La altura de la unidad final es variable en función del caudal de efluente a tratar, pero su diseño contempla el transporte en partes (altura máxima de 2,05 m), debiendo realizarse luego el posicionado y encolado en sitio.



La unidad es compacta: el reactor de lodos activados se desarrolla para una edad mínima de lodo, el sedimentador secundario está integrado al reactor en forma lateral, el sólido biológico sedimenta y retorna al reactor en forma natural, mientras que el efluente clarificado es colectado y conducido hacia una cámara de contacto también integrada a la unidad. Se dispone una zona de



espesado de lodos, desde donde se purga hidráulicamente los lodos hacia un digestor aeróbico de mezcla completa, integrado al mismo módulo.

El módulo es construido con estructura en placas y perfiles de PRFV-P (poliéster reforzado con fibra de vidrio con sistema pultrurado).

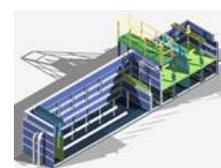
#### **Unidad de Tratamiento Físico Químico (UTFQ) con flotación por aire disuelto (DAF)**

Las UTFQ se desarrollan para caudales comprendidos entre 10 y 200 m<sup>3</sup>/h. Se compone de un kit de saturación y dosificación; y de una celda de floco-flotación.

El kit de saturación incluye todos los componentes necesarios para la saturación de una porción del agua clarificada, la dosificación de los productos químicos y los dispositivos eléctricos de comando y control, todos estos elementos montados de fábrica sobre una plataforma transportable en contenedor de 20 pies.



En la celda de floco-flotación se llevan a cabo los procesos de coagulación química, floculación mecánica, mezcla, clarificación por flotación por aire disuelto, acumulación, concentración, y retiro de lodo. Es construida en PRFV pultrurado, siendo el ancho máximo de 2,20 m, largo variable hasta un máximo de 11.9 m, y altura total variable en función del caudal de efluente a tratar con diseño telescópico de altura máxima de 2.55 m, lo que permite transportarla en el interior de un único contenedor marítimo (20 o 40 pies).



Su aplicación principal es en el área industrial, tanto para el reuso del efluente, la recuperación de materia prima, como para mejorar sistemas de tratamiento sobrecargados existentes.

#### **Estación de Tratamiento de Efluentes (ETE) mediante filtración biológica y tecnología DAF**

La ETE desarrollada bajo este diseño se aplica al tratamiento de efluentes de poblaciones comprendidas entre 2.000 y 80.000 habitantes o su equivalente en caudal.

La ETE se compone de un filtro biológico donde se degrada la fracción soluble de la materia orgánica presente en el afluente, seguido de una unidad de clarificación con aplicación de tecnología DAF para la remoción de la fracción particulada.

El filtro biológico va montado sobre la unidad de clarificación (celda de UTFQ-DAF), de manera tal que el efluente filtrado cae directamente sobre la celda de clarificación con DAF, lo que le brinda compacidad a la solución implantada en sitio.



La estación completa es transportable en dos partes: unidad base en un contenedor, y estructura del filtro biológico desarmando (placas y perfiles) en otro contenedor. Es construida en PRFV-Pultrurado con opción de uso de lonas para el revestimiento del filtro biológico.

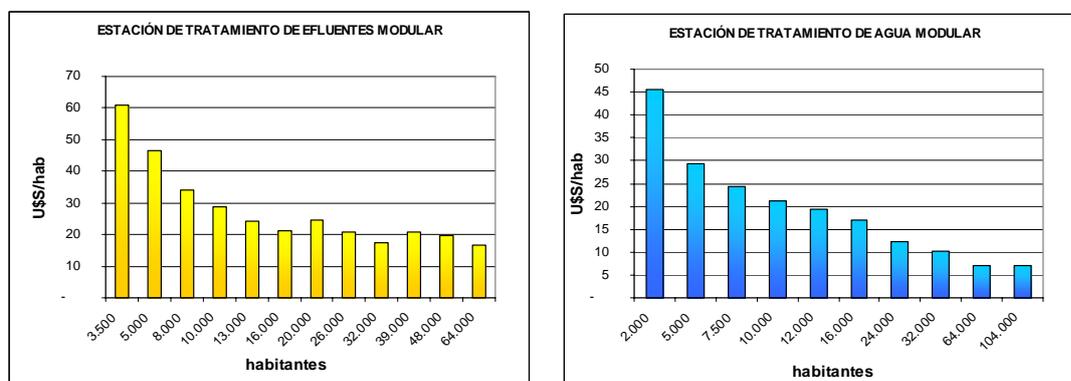
### **CONCLUSIONES**

A partir de la identificación de una demanda de soluciones de tratamiento de agua y efluentes que respondan a padrones prefabricados, se lleva a cabo el desarrollo de soluciones costo-eficientes, competitivas, con modalidades tradicionales de concepción y construcción. Mediante el uso de tecnologías apropiadas es posible plantear soluciones de tratamiento cuyo costo de inversión por habitante es comparable a soluciones de tratamiento de gran escala y con tiempos de ejecución sensiblemente menores (4-6 meses).

Las estaciones modulares constituyen un diseño innovador que, mediante el uso de tecnologías avanzadas y un diseño volumen-intensivo permiten generar productos estandarizados de aplicación directa en el mercado por sus notables ventajas en comparación con soluciones de fabricación en sitio (pre-ensamblado en fábrica, mínima misión de montaje en sitio, y mínimo requerimiento de espacio físico para su implantación).

El PRFV pultruido constituye un material de ventajosa aplicación en la tecnología de tratamiento de agua y efluentes, debido a sus características notables en lo que respecta a resistencia, menor peso y costo comparado con soluciones en acero.

El costo de inversión por habitante para este tipo de soluciones concebidas en forma modular y prefabricadas es comparable a los costos unitarios de soluciones de tratamiento de agua y/o efluentes que presentan economías de escala (Gráfico 1).



**Gráfico 1 – Costo de inversión por habitante para soluciones de tratamiento prefabricadas**  
**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. JOHANNES HAARHOFF, LUCAS VAN VUUREN. A South African Design Guide for Dissolved Air Flotation. Report for the Water Research Commission, section 2 & 5. 1993.
2. ORRIS E. ALBERTSON. Aerobic Fixed-Growth Reactors. Water Environmental Federation. Pág 77 a 112. 2000.
3. SUSUMU KAWAMURA. Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities. Second Edition. Copyright by John Wiley & Sons, Inc. 2000
4. RONALD L. DROSTE. Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment. Copyright by John Wiley & Sons, Inc 1997.
5. METCALF&EDDY. Ingeniería de Aguas Residuales. Tomo I. Mc Graw Hill, 1996.
6. NELSON L. NEMEROW, AVIJIT DASGUPTA. Tratamiento de Vertidos Industriales y Peligrosos. Ediciones Diaz de Santos, 1998.
7. CBMC Cia. Brasileira de Materiais Compósitos. Processo Industrial PRFV em Unidades de Tratamento. 2006.
8. OUTO KUMPU. Presentación Acero Inoxidable. 520, Jesus Gonzáles, Junio 2006.