



## SISTEMA DE DISPOSICIÓN FINAL PARA LA ZONA OESTE DE MONTEVIDEO PLAN DE SANEAMIENTO URBANO IV – PLANTA DE PRETRATAMIENTO

**Ing. Deborah Elenter(\*)**

SEINCO SRL. Ingeniera Química (UdelaR) y Magíster en Ingeniería Civil y Ambiental (University of Illinois, USA). Ingeniera de la consultora SEINCO desde Julio de 2009, habiendo sido encargada del subproyecto Planta de Pretratamiento para el PSUIV.

**Ing. Esteban Pérez**

SEINCO SRL

**Ing. Leon Broitman**

TAHAL Consulting

**Ing. Gerardo Póppolo, Ing. Sonia Pagalday Ing. Carlos Poggio, Ing Alejandra Bergeret, Ing, María Mena e Ing. Lucas Blasina**

Intendencia de Montevideo, Grupo de Contraparte

**Ing. Julio Molinolo**

SEINCO SRL

**Ing. Francisco Gross**

SEINCO SRL



Dirección del autor principal (\*): Ituzaingó 1256 – Montevideo – Uruguay. Código Postal 11100. Tel: 29161565 Fax: 29163962. e-mail: [delenter@seinco.com.uy](mailto:delenter@seinco.com.uy)

### RESUMEN

El consorcio SEINCO-TAHAL fue contratado por la Intendencia de Montevideo (IM) para realizar el proyecto ejecutivo del sistema de disposición final para la zona oeste de Montevideo el cual es parte de la cuarta etapa del Plan de Saneamiento Urbano IV (PSUIV). Las principales obras incluidas en el proyecto son las siguientes: Estaciones de Bombeo y Conducciones, Planta de Pretratamiento, y Emisario Subacuático.

El presente trabajo presenta el proceso de diseño con sus características únicas y los aspectos críticos de la **Planta de Pretratamiento** a ser construida en la zona de Punta Yeguas. La PPT tiene un caudal de diseño de 5.30 m<sup>3</sup>/s e incluirá procesos de desbaste mediano y fino así como también desarenado mediante sistemas vortex. Las instalaciones se construirán cubiertas y el aire extraído de las mismas será tratado por un sistema de tratamiento de olores innovador.

**Palabras Clave:** Montevideo, Pretratamiento, Saneamiento, Tratamiento de Olores, Emisario.

### INTRODUCCION

Desde hace cuatro décadas la Intendencia de Montevideo (IM) ha venido ejecutando los Planes de Saneamiento Urbano de Montevideo. Hasta la fecha se han completado las siguientes etapas:

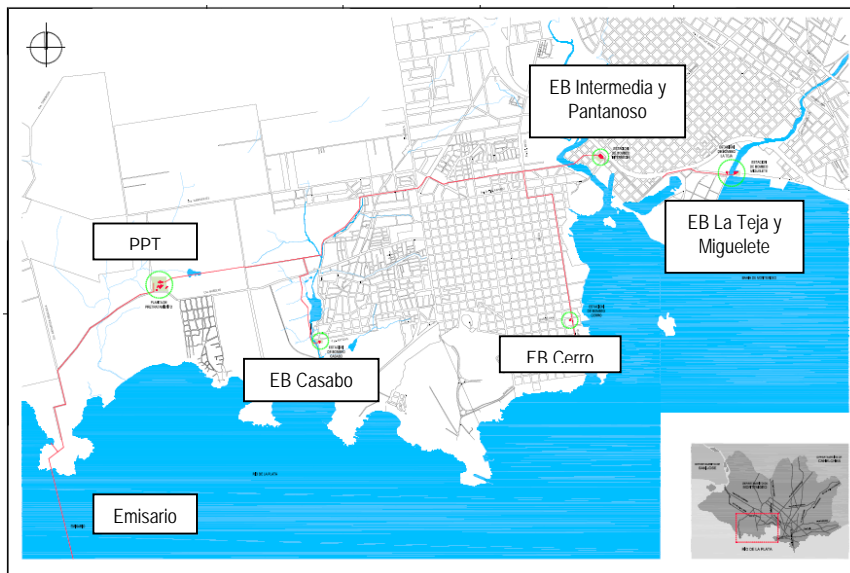
- Etapa I: Saneamiento al Este de Punta Carretas, Colector Costero, Estaciones de Bombeo y Emisario Subacuático en Punta Carretas.
- Etapa II: Saneamiento al Oeste de Punta Carretas, Colector Costero, Estaciones de Bombeo, Saneamiento de Cuencas Chacarita, Canteras y Flor de Maroñas.
- Etapa III: Saneamiento en Cuencas Miguelete y Pantanoso, Carrasco Norte, Refuerzo del Colector Costero, Cuenca Paraguay, Rejas y Estaciones de Bombeo

La cuarta etapa (actualmente en ejecución) incluye entre otros proyectos el diseño y la construcción del sistema de disposición final para la zona oeste de Montevideo. Las principales obras incluidas en el proyecto son las siguientes:

- Estaciones de Bombeo y Conducciones
- Planta de Pretratamiento
- Emisario Subacuático

La Planta de Pretratamiento (PPT) formará parte integral del sistema de disposición final de la zona oeste (la Figura 1 muestra un esquema global del proyecto). Su función será tratar los líquidos residuales bombeados y conducidos hasta la PPT y descargar los efluentes tratados al Río de la Plata mediante un emisario subacuático de 2 km de longitud localizado en Punta Yeguas.

La planta de Pretratamiento (PPT) recibe los efluentes mediante un sistema de estaciones de bombeo, con previo pasaje por rejas mecánicas de 2cm de separación entre barras.



**Figura 1: Esquema Global del Proyecto**

## DATOS DE PARTIDA

A la hora de comenzar con el diseño de la PPT se consideró indispensable realizar una evaluación especial para la determinación de los parámetros de partida a utilizar en el diseño. Estos incluyen datos tales como caudales, caracterización del efluente, así también como los objetivos de calidad a ser cumplidos. A continuación se presentan brevemente los datos de partida más relevantes para el diseño de la PPT.

**Caudales.-** Considerando la magnitud de la obra y del área de impacto (tratamiento para la totalidad de los caudales de la zona oeste) los primeros desafíos encontrados al diseñar la PPT fueron los caudales de diseño a utilizar. Se realizó una minuciosa proyección de poblaciones y caudales para la zona oeste de Montevideo. La composición de los caudales según el tipo de caudal se presenta a continuación (Tabla 1) para el año 2035 y el año 2050.

<b>Tabla 1: Composición de Caudales Medios Proyectados</b>				
<b>Año</b>	<b>2035</b>		<b>2050</b>	
	<b>Q (l/s)</b>	<b>%</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>%</b>
Residencial	982	40%	1.082	37%
Público	76	3%	76	3%

<b>Tabla 1: Composición de Caudales Medios Proyectados</b>				
<b>Año</b>	<b>2035</b>		<b>2050</b>	
	<b>Q (l/s)</b>	<b>%</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>%</b>
Comercial	64	3%	63	2%
Industrial	468	19%	770	26%
Infiltración nivel freático	611	25%	701	24%
Aportes incontrolados/reserva de seguridad	141	6%	162	5%
Infiltración por pérdidas en red AP	91	4%	101	3%
<b>Total</b>	<b>2.432</b>	<b>100%</b>	<b>2.955</b>	<b>100%</b>

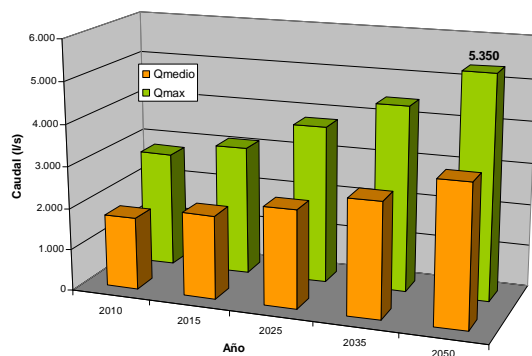
A su vez, la Tabla 2 muestra la composición de caudales en función de las unidades funcionales pertenecientes al sistema en su totalidad.

<b>Tabla 2: Proyección de Caudales Máximos por Subsistema</b>		
<b>Subsistema</b>	<b>Año</b>	
	<b>2035</b>	<b>2050</b>
UF Miguelete y Centro-Noreste	2.320	2.666
UF Pantanoso	1.198	1.673
UF Cerro	113	112
UF Casabó	122	144
SI Santa Catalina y Pajas Blancas	47	63
SI La Paz - Las Piedras	690	690
<b>Total Sistema Oeste</b>	<b>4.490</b>	<b>5.348</b>

Para la totalidad del periodo en estudio (año 2010 al 2050) se proyectaron los caudales medios (caudal medio anual) y los caudales máximos (caudal máximo horario de día de máximo flujo) los cuales se presentan en la Tabla 3 y en la Figura 2. Cabe destacar que la planta de pretratamiento fue diseñada en base a los cálculos proyectados para el año 2050 por lo que el caudal de diseño de la PPT se fijó en **5.3m<sup>3</sup>/s** (caudal máximo a final de período).

**Tabla 3: Caudales medios y máximos**

<b>Año</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2025</b>	<b>2035</b>	<b>2050</b>
Q medio l/s)	1.750	2.002	2.354	2.756	3.391
Q máx (l/s)	2.776	3.119	3.804	4.490	5.348



**Figura 2: Proyección de Caudales**

**Caracterización del efluente.-** Con el fin de conocer las características del efluente a tratar los trabajos incluyeron tareas de muestreo y aforo para caracterización de los líquidos afluentes a la PPT. La Tabla 4 presenta los resultados del estudio de caracterización del líquido residual afluente a la PPT para los parámetros más relevantes. Cabe destacar que durante la etapa de aforo y muestreo se evaluó la incidencia de la intrusión pluvial y se constataron aportes de origen industrial.

<b>Tabla 4: Concentración de contaminantes en el líquido residual afluente a la PPT (2050)</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>unidades</b>	<b>Concentración</b>	<b>Carga (kg/d)</b>
<b>DBO<sub>5</sub> Total</b>	mgO <sub>2</sub> /L	266	80536
<b>DQO Tot</b>	mgO <sub>2</sub> /L	608	184095
<b>Sol Sus</b>	mg/L	225	68159
<b>Sol Sus (vol)</b>	mg/L	184	55783
<b>Ntotal</b>	mgN/L	57	17332
<b>Ptotal</b>	mgP/L	8,5	2571
<b>G y A (totales)</b>	mg/L	65	19833

**Objetivos de Calidad.-** El vertido a realizar a 2000m de la costa, mediante condiciones adecuadas de dispersión (diseño de difusores), permite luego de rigurosos estudios de modelación de calidad de agua en el Río de la Plata, realizados por el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) de la Facultad de Ingeniería (UDELAR), concluir en que el vertido proyectado no afectará los usos previstos del Río de la Plata en las zonas de control (zonas costeras de uso recreativo).

El objetivo de la PPT es remover contaminantes, de forma que el líquido a verter pueda ser descargado al cuerpo receptor, con mínimos impactos visuales por presencia de sólidos groseros, mediante un emisario subacuático manteniendo una operación segura y funcional del mismo. Para alcanzar estos objetivos se propusieron dos etapas de desbaste de sólidos (gruesos y finos) y una etapa de desarenado.

## **METODOLOGÍA DEL DISEÑO**

La metodología utilizada para llevar a cabo el diseño de la planta de pretratamiento incluyó varias etapas (Estudios Básicos, Anteproyecto, y Proyecto Ejecutivo). En las primeras dos etapas de estudio, se desarrollaron alternativas de tratamiento las cuales fueron evaluadas desde un punto de vista técnico y económico de forma de seleccionar la alternativa óptima. En la última etapa (Proyecto Ejecutivo) se procedió a realizar el diseño en detalle de la alternativa seleccionada.

A continuación se presenta un resumen del análisis de alternativas desarrollado para el presente proyecto.

Considerando los objetivos de calidad determinados, tal como se mencionó anteriormente, se seleccionó como tratamiento etapas de desbaste (mediano y fino) y una etapa de desarenado. Con el fin de proteger el equipamiento de desbaste de sólidos finos, se determinó que la secuencia de tratamiento sería:

Remoción Sólidos Medianos → Remoción Arenas → Remoción Sólidos Finos

Las alternativas consideradas fueron:

- Alternativa A: Rejas Medianas (12mm) + Desarenador Vortex + Rejas Finas (3mm)
- Alternativa B: Rejas Medianas (12mm) + Desarenador Vortex + Microtamices (1mm)
- Alternativa C: Rejas Medianas (12mm) + Desarenador Vortex + Microtamices (3mm)

Con el fin de de seleccionar la alternativa de tratamiento óptima desde un punto de vista tanto técnico como económico se realizó un análisis de alternativas. A las alternativas identificadas y presentadas anteriormente se les realizó una estimación de costos. Con dicha estimación se realizó un análisis de ciclo de vida de proyecto el cual incluyó tanto costos capitales como de operación y mantenimiento y se computó lo que se conoce como Valor Presente Neto (VPN). Comparando los valores de VPN y ponderando los mismos con los resultados de la evaluación técnica se determinó la secuencia de tratamiento óptima.

**Evaluación Técnica.-** Para realizar la evaluación técnica de las diferentes alternativas se procedió a desarrollar criterios de comparación. Dichos criterios pertenecen a aspectos de proceso, físicos, operativos y de mantenimiento, ambientales, y económicos. Luego de fijados los criterios, a cada uno de ellos se le asigno un factor de importancia y se procedió a puntuar las alternativas por cada criterio considerado (en una escala de 0 a 10). Luego, ponderando las calificaciones de cada criterio con la importancia asignada, se determino el Puntaje Técnico de cada alternativa. La Tabla 5 presenta los resultados de la evaluación técnica.

<b>Tabla 5: Evaluación Técnica de las Alternativas</b>				
Criterio	Importancia	Alternativa/Puntaje		
		Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Capacidad de remoción de contaminantes	15%	7	10	7
Percepción Social	5%	8	5	7
Grado de Automatización	5%	8	5	5
Confiabilidad en la Operación	30%	7	10	10
Requerimiento de Mantenimiento	10%	7	10	10
Simplicidad de Operación	10%	8	8	8
Robustez de los Equipos Electromecánicos	5%	7	10	10
Requerimiento de Área	5%	8	5	7
Referencias (Cantidad y Calidad de Instalaciones)	15%	7	7	7
<b>Puntaje Total</b>	<b>100%</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>8</b>

**Evaluación Económica.-** La metodología utilizada para la evaluación económica se basó en el cálculo del Costo de Ciclo de Vida del proyecto. Esta metodología incluye calcular el Valor Presente Neto (VPN) de cada alternativa y al comparar los VPN de cada alternativa se puede determinar cuánto más atractiva sería una alternativa al ser comparada con otras. La comparación de VPNs indica que una alternativa es más atractiva que otra desde un punto de vista económico-financiero. Para realizar el cálculo del VPN se fijaron como criterios de duración del proyecto 40 años (2010 – 2050) y una tasa de descuento del 10%. Los resultados del análisis económico se presentan en la Tabla 6.

<b>Tabla 6: Comparación Económica de las Alternativas</b>						
Período 2010 – 2050	Inversión (miles de U\$S)		Costo Anual O&M (miles de U\$S)		Costo Total (miles de U\$S)	Costo (U\$S/m3)
	Monto	VPN	Monto	VPN	VPN	(U\$S/m3)
Alternativa A	16.200	8.300	22.300	5.300	13.500	0,019

Período 2010 – 2050	Inversión (miles de U\$S)		Costo Anual O&M (miles de U\$S)		Costo Total (miles de U\$S)	Costo (U\$S/m3)
Alternativa B	22.500	11.500	24.000	5.700	17.200	0,025
Alternativa C	18.900	9.700	22.000	5.200	14.900	0,022

**Resultados.-** Para combinar la evaluación técnica con la económica se procedió a calcular Puntajes Técnico Relativo (PTR) y Puntaje Económico Relativo (PER). Asimismo el PTR y el PER se combinaron con % de ponderación (importancia del aspecto técnico/económico) para asignar a cada alternativa un puntaje total. La Tabla 7 muestra los resultados de la evaluación combinada.

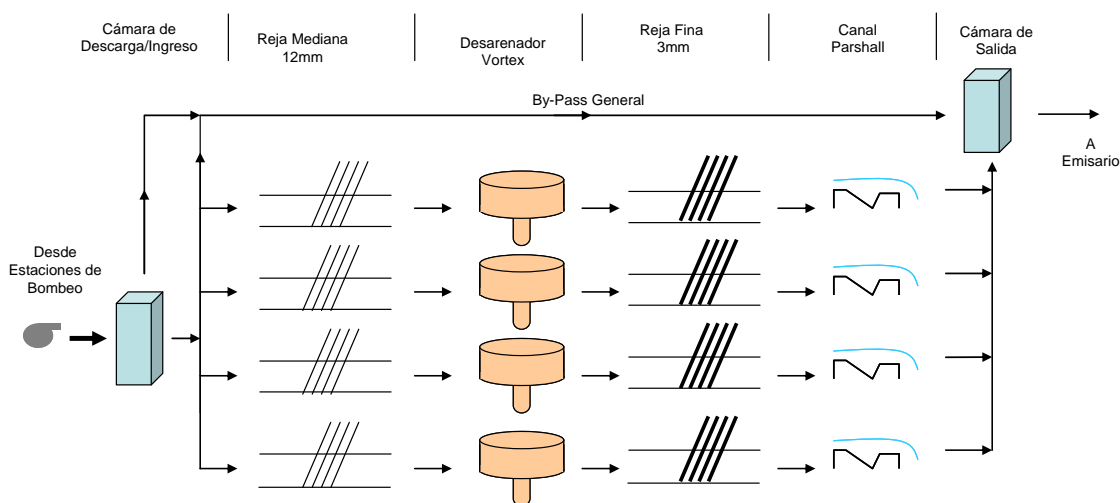
	PTR	PER	PT
<b>Alternativa A</b>	0,84	1,00	0,94
<b>Alternativa B</b>	1,00	0,78	0,87
<b>Alternativa C</b>	0,97	0,91	0,93

La secuencia de tratamiento seleccionada incluye desbaste de sólidos gruesos mediante rejas de múltiple rastrillo, remoción de arenas mediante desarenador de tipo vortex y desbaste de sólidos finos mediante rejas escalonadas.

## RESULTADOS DEL PROCESO DE DISEÑO

A continuación se presentan las características del proyecto en su etapa de diseño finalizado.

**Esquema de Proceso.-** El esquema de proceso resultado del análisis de alternativas mencionado en el punto anterior se presenta en la Figura 3. Como se puede observar la PPT contará con una cámara de ingreso la cual alimenta a los cuatro trenes de tratamiento y una cámara de salida previo al emisario subacuático. La modulación de los trenes de tratamiento se realizará en función del caudal de la planta el cual es medido mediante canales Parshall instalados en cada uno de los trenes aguas abajo de las rejas finas.



**Figura 3: Esquema de Proceso**

**Ubicación.-** La PPT se encontrará desde un punto de vista funcional entre el sistema de Estaciones de Bombeo y Conducciones del sistema Oeste y el Emisario Subacuático que descargará los efluentes pre-tratados en el Río de la Plata.

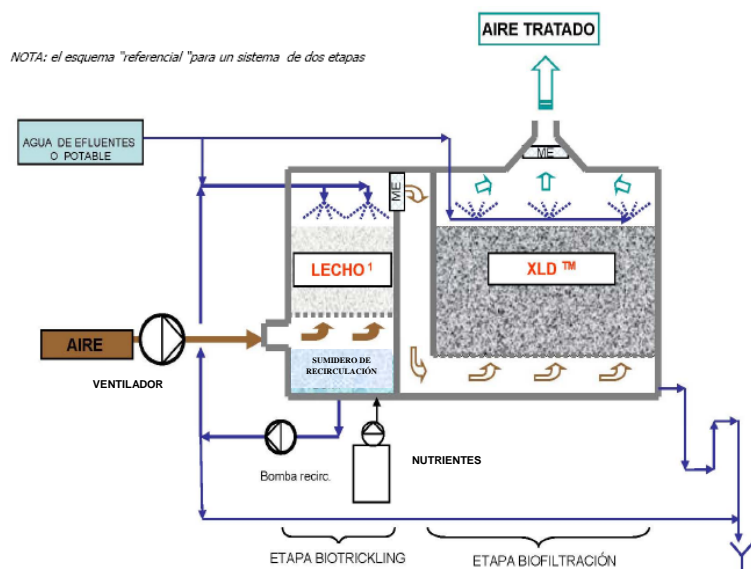
Los líquidos residuales del sistema Oeste serán bombeados por medio de estaciones de bombeo (Estaciones de Bombeo Intermedia, Cerro y Casabó) y conducidos a presión mediante conducciones de aproximadamente 8km de longitud hasta la PPT. Desde la PPT los líquidos son descargados hacia el emisario por gravedad (forzada), por lo que la localización de la PPT se seleccionó en un área de cota de terreno relativamente alta para favorecer la descarga.

La ubicación del predio de la planta es en la esquina de Camino Burdeos y Ferres en la zona de Punta Yeguas y el área ocupada por la implantación de la PPT es de aproximadamente 1.7 Ha (120m x 140 m).

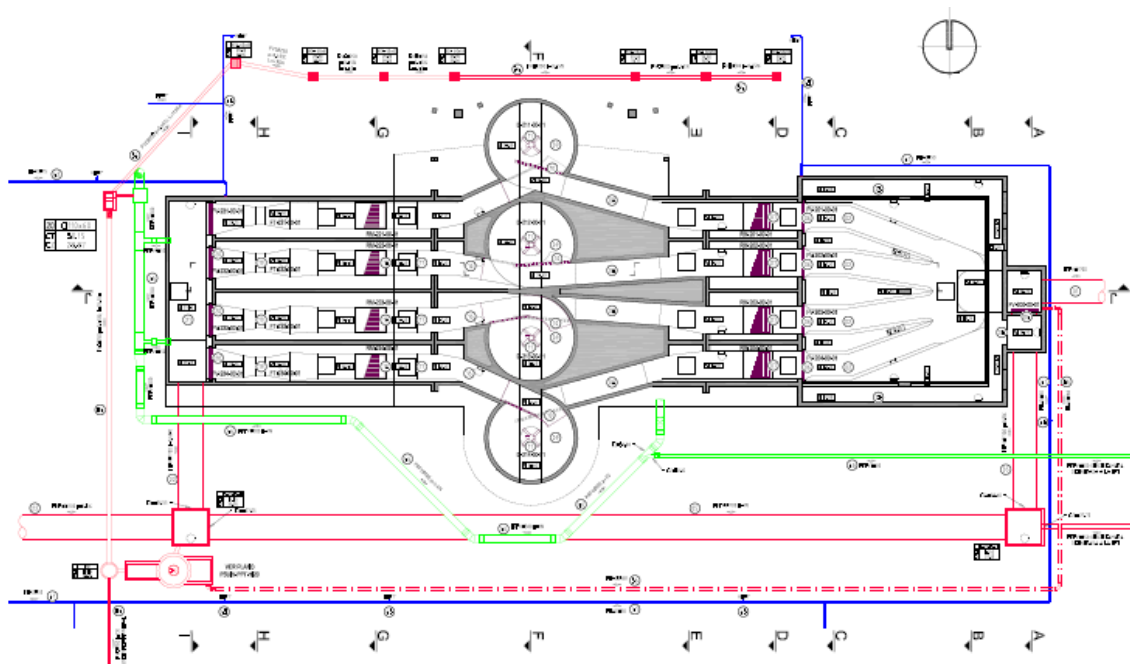
**Particularidades.-** El diseño de la PPT logra reunir varios aspectos críticos a la hora de considerar la envergadura del proyecto. En primer lugar se diseñó la planta con cuatro trenes de tratamiento idénticos a ser construidos a principio de período (ver Figura 5). De esta forma, en caso de mantenimiento o de equipos fuera de servicio, la planta podrá operar con 1, 2, o 3 trenes fuera de servicio (en función del caudal afluente).

En segundo lugar se seleccionaron procesos y equipamiento innovadores, de probada eficiencia y amplio historial de utilización a nivel mundial. Este es el caso de Rejas de Múltiple Rastrillo para desbaste grueso, Rejas Escalonadas para desbaste fino, Sistema de Vortex para remoción de arenas y sistema de bitorre/biofiltros para tratamiento de olores (la Figura 4 muestra el esquema de proceso para el sistema innovador de tratamiento de olores).

El diseño seleccionado implica una gran robustez de la planta y brinda una gran flexibilidad para operar tanto con caudales pequeños (a inicio de período) como altos (a final de período). A modo ilustrativo se presenta en la Figura 6 un fotomontaje de la implantación de la PPT en el predio.



**Figura 4:** Esquema ilustrativo del sistema Tratamiento de Olores. Fuente: BIOREM



**Figura 5:** Plano de la planta del área de pretratamiento. De derecha a izquierda: cámara de entrada, rejas medianas, desarenador, rejas finas, parshall, canal de salida.



**Figura 6:** Fotomontaje de la PPT