

## PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, LIMA PERU

R. Erazo - Erazo<sup>(\*)</sup>, J.L. Cárdenas - Ruiz

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química  
Departamento de Análisis y Diseño de Procesos  
Av. Venezuela s/n - Lima Perú

**Abstract:** This work is aimed at developing a design of a wastewater treatment plant to treat wastewater released from the Campus of the University of San Marcos in Lima - Perú. An anaerobic treatment of sewage has been designed to treat a load of 1.00 L/s of wastewater, containing a  $DBO_5$  of 220 mg/L. The required biorreactor has a capacity of 10.8 m<sup>3</sup>, which will operate at high yield compared to the standard processes of treatment. It has been demonstrated that this process is economically and technically feasible, and the total cost of implementing, this project has been calculated in US\$ 45 000, using locally available corrosion resistant material.

**Key words:** wastewater, biorreactor, anaerobic, design.

**Resumen:** Este trabajo está orientado a desarrollar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para tratar el agua residual producido en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en Lima - Perú. Se ha diseñado un tratamiento anaeróbico para tratar una carga de 1.00 L/s de agua residual, conteniendo una  $DBO_5$  de 220 mg/L. El bioreactor necesario tiene una capacidad de 10.8 m<sup>3</sup>, el cual operará a un alto rendimiento comparado con el procesamiento estándar de tratamiento. Está demostrado que este proceso es técnico y económicamente factible y al costo total de implementación, para este proyecto ha sido calculado en US\$ 45 000, usando materiales resistentes a la corrosión localmente disponibles.

**Palabras clave:** agua residual; bioreactor, anaeróbico, diseño..

### INTRODUCCION

Actualmente en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos el riego de áreas verdes es mediante agua potable tomado directamente de la red, cuya fuente es agua extraída del subsuelo.

Con el fin de reemplazar el uso de agua potable por una fuente de agua recuperada mediante tratamiento de efluentes residuales, fundamentalmente doméstico, se propone el desarrollo de un proceso de tratamiento de las aguas residuales producidas en la Ciudad Universitaria.

El procedimiento de diseño consiste en la síntesis y análisis ingenieril del diagrama de flujo apropiado para tratar las aguas residuales y obtener un efluente de las características sanitarias reguladas por las entidades correspondientes, SEDAPAL y Ministerio de Salud (DIGESA).

El corazón del proceso consiste en el desarrollo de un bioreactor de lodos activados para tratar la carga orgánica del efluente contaminado aprovechando la acción transformadora de ciertos microorganismos unicelulares como las bacterias.

Se pretende demostrar que es factible tal proceso, tanto desde el punto de vista técnico como económico y que es una alternativa importante para la preservación del agua potable y el reuso del agua tratada.

### PRINCIPIO DE TRATAMIENTO

El tratamiento de aguas residuales, dependiendo del origen del contaminante, se puede realizar de diversas formas [1,2]. Sin embargo, es oportuno mencionar cuatro tipos de tratamiento biológico que pueden proporcionar menores inversiones con eficiencias compatibles con las necesidades del difícil momento. La alternativa de lagunas de estabilización, de un modo general, es más económica y fácil de operar [3]. El tratamiento fitopedológico, consistente en la utilización de lagunas con jacintos seguidos de suelo filtrante, en donde ocurren filtración y degradación biológica [4]. El filtro anaeróbico, que está constituido por una instalación filtrante estático es muy versátil y adaptable a pequeños flujos de agua residual [5]. El bioreactor anaeróbico de flujo ascendente es sin duda la alternativa apropiada para el tratamiento en donde no se disponen de grandes áreas para las instalaciones. La alimentación es hecha por la base siendo el flujo ascendente y existiendo decantadores

(\*) E-mail : d160025@unmsm.edu.pe



en la parte superior [6]. Por otro lado, la eficiencia de los procesos de tratamiento está en relación a la presencia de oxígeno en el medio [7, 8, 9], lo que permitirá que mediante una adecuada política de manejo de los residuos líquidos, el reciclado de agua tratada sea una alternativa viable.

En todos los casos de tratamiento biológico, es importante señalar, los microorganismos que forman una población heterogénea son los responsables de la depuración. Estos cambian continuamente en función de las variaciones de la composición de las aguas residuales y de las condiciones ambientales [10]. Los microorganismos presentes son bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoos y rotíferos, de estas las bacterias son probablemente las más importantes [11, 12].

### UBICACION DE LA PLANTA

De un conocimiento general acerca de la estructura urbanística de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, ubicado entre los límites de la Provincia de Lima y la Provincia Constitucional del Callao, se puede observar que las aguas residuales producidos son evacuados a través de varios colectores de alcantarillado, uno de los cuales va hacia un pozo séptico ubicado entre el Gimnasio y el Estadio Monumental, colindante con el Hospital Naval de la Marina, propiedad de la Marina de Guerra del Perú. La planta de tratamiento será compacta para adecuarse al área disponible circundante al pozo séptico ya mencionado.

### CARACTERISTICAS DEL AGUA RESIDUAL

El caudal del colector interno es variable y su promedio es 1,00 L/s (86,4 m<sup>3</sup>/día), con una composición también variable. En base a los métodos de análisis físico, químico y biológico proporcionados por la literatura [13,14], se determina la composición promedio, la misma que se presenta en la **tabla 1**.

**Tabla 1.** Composición promedio de agua residual de la Ciudad Universitaria de San Marcos.

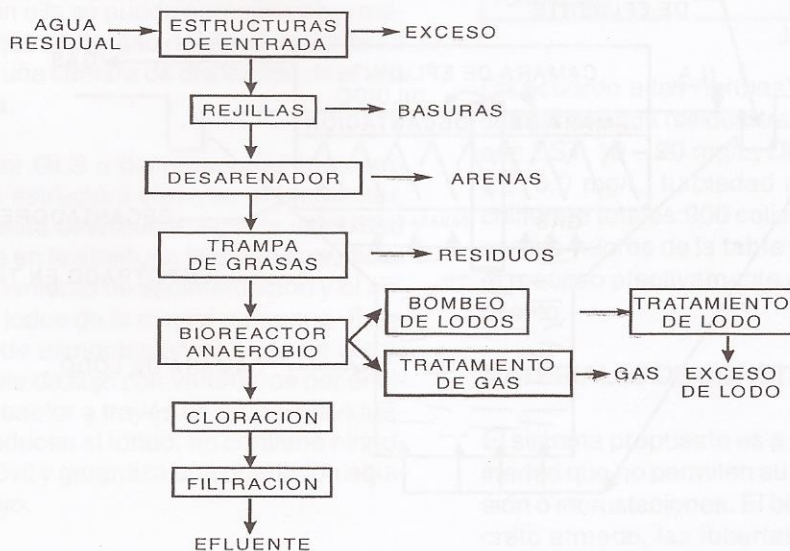
DESCRIPCION	CANTIDAD
GASTO (CAUDAL)	1,00 L/s
CARGA ORGANICA (DBO <sub>2</sub> )	220 mg/L
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	240 mg/L
PH	6 - 9
GRASAS Y ACEITES	150 mg/L
SOLIDOS TOTALES	1200 mg/L
SOLIDOS SEDIMENTABLES (SS)	20 mg/L

Como se puede apreciar, esta composición es típica proveniente de desagües domésticos, los cuales se componen aproximadamente de un 99,9% de agua y 0,1% de sólidos en peso seco. Es decir, el líquido en sí es nada más que un medio de transporte de las innumerables sustancias orgánicas, inorgánicas y microorganismos eliminados por el hombre diariamente. Los sólidos son cerca de 70% orgánicos (proteínas, carbohidratos y grasas) y 30% inorgánicos (arena, sales y metales).

### DISEÑO DE PROCESO

#### Síntesis y Análisis

La elección del tratamiento biológico anaeróbico en la depuración de las aguas



**Figura 1.** Diagrama de operaciones para el tratamiento de agua residual de la Ciudad Universitaria UNMSM.



residuales, cuyas características se dio en la **tabla 1**, obedece fundamentalmente a factor económico. El diseño de tal sistema ahorra energía [15] y su operación y mantenimiento demandan un costo mínimo comparado con otro tipo de instalaciones [16].

En la **figura 1** se muestra el diagrama de operaciones que concierne al tratamiento. Esto se ha elaborado tomando en consideración los conceptos fundamentales de síntesis y análisis de los procesos [17,18,19], así como los heurísticos que sobre el tema están disponibles en la literatura [20].

### Descripción del Proceso

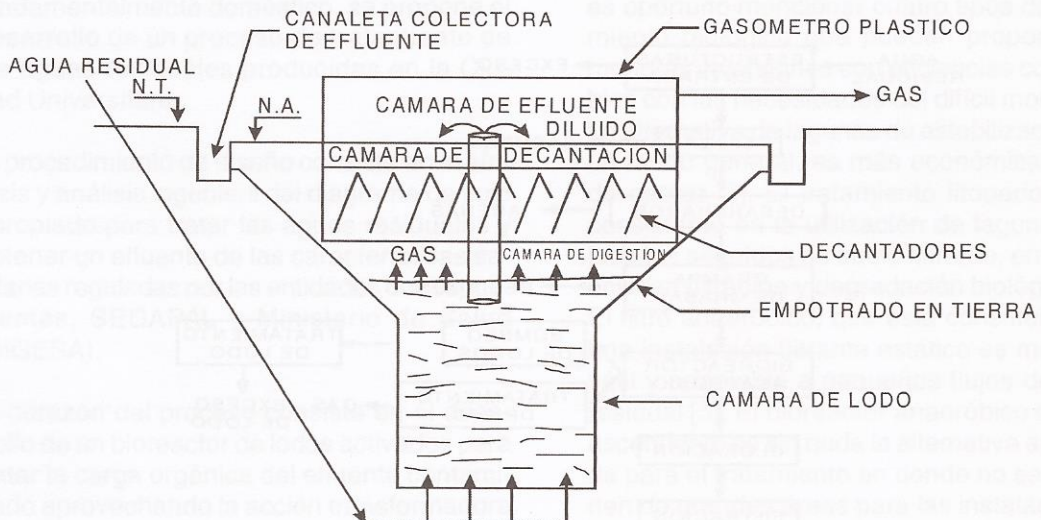
El proceso comienza con una operación de pre-tratamiento de regulación de caudal y retención de sólidos gruesos (papeles, plásticos, etc.) mediante la instalación de dos rejillas tipo canastilla con aberturas de 50 mm y 25 mm, respectivamente. A continuación, el agua proveniente de este sistema pasa por un desarenador, que tiene por objeto remover la mayor parte del material sólido inorgánico (arena, grava), que de otra forma causaría problemas en el bioreactor. Luego, el agua pasa a un tanque de remoción de grasas y aceites para ser conducidos a un bioreactor anaerobio de flujo ascendente.

Este equipo es el corazón de la planta. Es básicamente un tanque conteniendo tres partes.

El primero, es una cámara de distribución seguido de una cámara de sedimentación donde se acumula un lodo descomponiéndose parcialmente por medio de bacterias anaerobias (cada 6 a 12 meses se extraerá parte del lodo para evitar saturación de la cámara). El agua sedimentada pasa a la siguiente etapa por un lecho filtrante de piedra triturada de 15 a 20 cm. de diámetro. La última etapa del bioreactor sirve como depósito de restos de partículas biológicas formado en la cámara anterior, descomponiéndose en forma anaerobia. El efluente obtenido se desinfecta con cloro en solución en un tanque abierto de contacto de cloro que permita el abatimiento de la concentración de bacterias. Se ha considerado un tratamiento de lodos, su disposición eficiente, y un tratamiento de gas por combustión para seguridad o evitar olores molestos. Dependiendo de su volumen, una alternativa sería usar como fuente energética. Finalmente, se incorpora una etapa de filtración rápida a través de un filtro mixto con grava – arena – antracita que permita retener los pequeños flóculos que son capaces de pasar a través del sistema convencional antes descrito. La finalidad es garantizar la calidad del agua requerida en el efluente final para su reuso de riego de áreas verdes [21].

### Diseño del Bioreactor

El bioreactor es anaerobio y de flujo ascendente, constituido por tres partes, un sistema de sedimentación, separador gas – líquido – sólido (GLS) y canaletas del efluente. En la



**Figura 2.** Vista seccional horizontal del bioreactor anaerobio de flujo ascendente.



TEMPERATURA, C	TRH PROMEDIO, h	TRH MINIMO, h	TRH PICO, h
20 - 23	12	7 - 9	3 - 5
23 - 26	8	5 - 7	3
> 26	6	4	2,5

Tabla 2. Criterio general para el dimensionamiento de un bioreactor anaerobio de flujo ascendente.

Tabla 2 se dan los parámetros más importantes para su dimensionamiento.

El tiempo de retención hidráulico (TRH) como se observa es dependiente de la temperatura. Los TRH promedios y mínimos están basados en las fluctuaciones diarias del flujo del sistema de alcantarillado. Otros factores que influyen en el TRH del bioreactor son la fracción del material sólido orgánico en el desecho y la degradabilidad de los mismos.

La cinética de Monod puede utilizarse como una buena aproximación para el crecimiento bacteriano [22]. Para un TRH de 3 h. que corresponde a una temperatura baja y alta, el volumen del bioreactor es 10,8 m<sup>3</sup>.

La forma del bioreactor será circular con una base tronco cónica con paredes inclinadas de 45° con la horizontal y lleva incorporado en la parte superior decantadores construidos con placas de asbesto - cemento y sostenido por estructuras de concreto armado y estará recubierto con lona plástica para recolectar el biogas. Tiene además incorporado un sifón lateral a media altura, para drenar el exceso de lodo de la cámara de sedimentación. Una vista horizontal del bioreactor se observa en la **figura 2** y en ella se puede apreciar esquemáticamente que el ingreso del agua residual es a través de una cámara de dispersión de abajo hacia arriba.

El separador GLS o decantadores tipo campana, es la estructura clave en el bioreactor. Su diseño está determinado por la velocidad ascendente en la abertura, la carga superficial del compartimiento de sedimentación y el ángulo de los lodos de la misma campana. Para el sistema de alimentación se elige un distribuidor simple de flujo con vertederos por encima del bioreactor a través de tubos individuales que conducen al fondo, no contiene ninguna parte móvil y garantiza una operación equitativa de flujo.

La función de las canaletas del efluente es recoger el agua residual tratado proveniente del

compartimiento de sedimentación del bioreactor. Estará instalado a todo lo largo y provistos con vertederos en V. Se utilizará cuatro vertederos por metro y bajo condiciones de flujo promedio la altura sobre los vertederos debe ser de 0,03 m. Para un apropiado funcionamiento del bioreactor se debe controlar la calidad y el nivel de lodo utilizando la instalación lateral tipo sifón cada vez que se considere necesario.

## RESULTADOS

Con la instalación propuesta, se obtendrá en funcionamiento regular, una estabilización completa del agua, sin olores de putrefacción en la planta y el efluente. En forma general en la **tabla 3** se da el rendimiento esperado.

Tabla 3. Rendimiento esperado del tratamiento de agua residual.

DESCRIPCION	CANTIDAD
SST	15 - 30 mg/L
DBO <sub>5</sub>	15 - 30 mg/L
SS	menor de 0,1 mg/L
COLOR RESIDUAL	0,3 mg/L
COLIFORME TOTALES (NMP)	5000 colis / 100 mL
TURBIEDAD	15 / 40 unt

De acuerdo a las normas internacionales de calidad de agua residual tratada los parámetros son SST: 10 - 20 mg/L, DBO<sub>5</sub>: 10 - 20 mg/L, SS: 0,0 mg/L, turbiedad menor de 10 unt y coliforme totales: 900 colis / mL. Comparados con los valores de la **tabla 3** encontramos que el proceso efectivamente es de un alto rendimiento.

## MATERIALES DE CONSTRUCCION

El sistema propuesto es a base de materiales inertes que no permiten su deterioro por corrosión o incrustaciones. El bioreactor es de concreto armado, las tuberías diversas en PVC, cartuchos de fibra de vidrio y los materiales filtrantes inertes.



Para el tratamiento propuesto, reuso de agua tratada, se implementará un cárcamo de bombeo en donde se instalará una bomba de aproximadamente 1 HP de potencia para elevar el agua a nivel de filtración y efectuar el retrolavado. En este caso se requerirá de energía eléctrica trifásica de 220 voltios y un panel de control para arrancar y controlar el motor requerido.

El costo de la planta considerando los materiales de construcción señalados asciende a US\$ 45 000,00 sin considerar terreno, costos de tratamiento de lodos y evacuación de agua tratada ni transporte de corriente eléctrica de baja tensión 220 / 380 V, 60 Hz.

## CONCLUSION

- El proceso de tratamiento de agua residual de la Ciudad Universitaria de San Marcos es factible tanto técnico como económico.
- La conexión directa de la planta de tratamiento, por gravedad al alcantarillado representa un ahorro, por cuanto se minimiza la necesidad de equipos electromecánicos.
- Los materiales de construcción de los equipos de la planta son inertes al deterioro por corrosión o incrustación y el costo total aproximado es de US\$ 45 000,00.

**Agradecimiento :** Los autores expresan su agradecimiento al Consejo Superior de Investigación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por el financiamiento de este proyecto de investigación.

## Bibliografía

- [1] Federico de Lora Soria y J.M. Chavarria. Técnicas de defensa del medio ambiente. Tomos I y II. Editorial Labor S.A. Barcelona (España) 1978.
- [2] W. Crueger y A. Crueger. Biotecnología: Manual de Microbiología Industrial. Editorial Acribia S.A. Zaragoza (España) 1989.
- [3] L.D. Benefield. Aguas Residuales – Purificación. Editorial Reverté S.A. Barcelona (España) 1980.
- [4] R.S. Romalho. Tratamiento de Aguas Residuales. Editorial Reverté S.A. Barcelona (España) 1993.
- [5] Metcalf y Eddy. Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Editorial Labor S.A. España 1977.
- [6] D. Diaz y V.E. Escalante. Tratamiento de Aguas Residuales de origen doméstico en Reactores Anaeróbicos de flujo ascendente y manto de lodos. XXIX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (SIDIS) CEPIS.
- [7] D. G. Robinson, J. E. White, A. J. Callier. Aerobic versus anaerobic wastewater treatment. Chem. Eng. **104**,110(1997).
- [8] F.S. Estevez y J.F. Gaztambide. Oxígeno puro para tratamiento de aguas residuales urbanas. Ing. Quím. **XXVII**(309),121(1995).
- [9] J.A. Jacome y J.I. Tejero. Depuración de aguas residuales con un reactor biopelícula. Ing. Quím. **XXVII**(309), 137(1995).
- [10] M.D. Trevan y Otros. Biotecnología. Principios biológicos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza (España) 1990.
- [11] G. Jagnow y W. Dawid. Biotecnología: Introducción con experimentos modelo. Editorial Acribia S.A. Zaragoza (España) 1991.
- [12] R. Mitchell. Introduction to Environmental Microbiology. Ed. Prentice Hall Inc. N.J. 1989.
- [13] Hach Company. Water Analysis Handbook. Leveland Colorado USA. 1989.
- [14] Helga Bernhard de Souza y J.C. Derisio. Guía Técnico de Coleta de Amostras de Aguas. CETESB, Companhia de Tecnologia de de Saneamiento Ambiental. Sao Paulo. Brasil. 1977.
- [15] Metcalf – Eddy. Ingeniería Sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Editorial Labor S.A. España 1985.
- [16] M. Fair Gordon. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. Ed. Limusa – Wiley. México. 1971.
- [17] R. Turton y Otros. Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes. Ed. Prentice Hall, PTR, N.J. 1998.
- [18] R. Smith. Chemical Process Design. Ed. Mc Graw – Hill Inc. N.Y. 1995.
- [19] J.M. Douglas. Conceptual Design of Chemical Processes, Editorial Mc Graw Hill Inc. 1998.
- [20] J.F. Andrews. Review paper: Dynamic Models and Control Strategies for Wastewater Treatment Processes. Water Res. **8**, 261(1974).
- [21] D. Prats y M. Rodriguez. Tecnologías de reutilización y potabilización de agua. Ing. – Quím. **XXVIII**(323), 113 (1996).
- [22] J.E. Bailey y D.F. Ollis, Biochemical Engineering Fundamentals. Editorial Mc Graw Hill N.Y. 1980.