

Diseño de una laguna de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales en el ITS de Martínez de la Torre

Miguel Ángel López Ramírez¹, Keila Elena Ocaña Drouaillet¹, César Argüelles López¹

¹Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, Ignacio de La Llave 182, Centro, 93600 Martínez de la Torre, Veracruz.

Resumen

El agua es el recurso más importante de esta investigación y de nuestra vida diaria, su disponibilidad es gradualmente menor debido a la contaminación física, química y/o biológica, lo cual degrada la calidad trayendo como consecuencia un impacto ambiental y a la población en general. Debido a lo anterior el ITS de Martínez de la Torre, tiene como propuesta diseñar un sistema biológico económico basado en una laguna de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales generadas en las nuevas instalaciones, con la finalidad de reducir el impacto ambiental en la zona ya que el municipio no cuenta con una planta de tratamiento. Como resultado de esta investigación básica, se obtuvo una laguna de 242 m², con una retención de 4.76 días y una producción de gas metano anual de 4390.85 Kg.

Abstract

Water is the most important resource in this research and in our daily life, its availability is gradually less due to physical, chemical and / or biological contamination, which degrades the quality, resulting in an environmental impact and the population in general. Due to the above, the ITS of Martínez de la Torre, has as a proposal to design an economic biological system based on a treatment lagoon for the treatment of wastewater generated in the new facilities, in order to reduce the environmental impact in the area. since the municipality does not have a treatment plant. As a result of this basic research, a lagoon of 242 m² was obtained, with a retention of 4.76 days and an annual methane gas production of 4390.85 Kg.

Palabras claves: Laguna de estabilización; contaminación; investigación básica

Keywords: Treatment lagoons; contamination; basic research

1. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos indispensable para las actividades humanas, para el desarrollo económico y el bienestar social. En promedio se necesitan 3 000 L de agua por persona para generar los productos necesarios para la alimentación diaria. (FAO y Fida, 2006).

Además, en el año 2020, se declaró que uno de los principales problemas a nivel mundial y la principal temática de la Agenda 2030 es la escasez del agua y la contaminación a este recurso provocado por los vertimientos de aguas residuales domésticas, municipales e industriales afectando sus propiedades de manera biológica, química y física degradando de manera indirecta la calidad de los suelos, daños a la biota y la salud de la población.

Derivado de la problemática mundial el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre ha propuesto la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales, la cual tendrá como finalidad cumplir con los parámetros en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) para ser vertida a los bienes nacionales.

Antes que nada, es importante mencionar que las características fisicoquímicas de las aguas residuales generadas en una institución educativa pueden ser consideradas como domesticas (Tabla 1), con la salvedad

que la concentración de fósforo por concepto de aporte de detergentes en lavado de ropa o trastes, puede ser mucho menor en aguas residuales generadas en una institución educativa comparada con una casa habitación.

Por otro lado, las condiciones actuales del terreno donde se ubican las instalaciones, no cuentan con una red de alcantarillado que conecten a la red municipal, quedando como única opción, el reúso en sistemas de riego agrícola o la descarga en río, por ello, es necesario llevar a cabo un sistema de tratamiento de aguas residuales que permita cumplir con características tipo A o C, respectivamente, de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Tabla 1. Composición fisicoquímica de aguas residuales domésticas crudas

| Contaminante | Unidad | Valor Promedio |
|-----------------------------|----------------------|-----------------|
| Sólidos Totales | mg L ⁻¹ | 0-700 |
| Sólidos Suspendedos Totales | mg L ⁻¹ | 0-210 |
| Demanda Química de Oxígeno | mg L ⁻¹ | 0-500 |
| Nitrógeno Total | mg L ⁻¹ | 0-35 |
| Nitrógeno Orgánico | mg L ⁻¹ | 0-13 |
| Nitrógeno Amoniacal Libre | mg L ⁻¹ | 0-22 |
| Nitratos | mg L ⁻¹ | 0 |
| Nitritos | mg L ⁻¹ | 0 |
| Fósforo Total | mg L ⁻¹ | 0-7 |
| Fósforo Orgánico | mg L ⁻¹ | 0-5 |
| Fósforo Inorgánico | mg L ⁻¹ | 0-5 |
| Coliformes Fecales | NMP/100 ml | 10 ⁷ |
| Huevos de helmitos | Número de organismos | 10 ² |

Fuente: Adaptado Crites y Tchobanoglous, 2000

2. METODOLOGÍA

Ubicación del sitio

El Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre (Figura 1) se encuentra ubicado en las coordenadas 20.0542, -97.0300, en el municipio de Martínez de la Torre, ubicado entre aproximadamente a 730 metros de la carretera a Banderilla y 230 metros del río Filobobos.



Figura 1. Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre

Fuente: Google Maps, 2020.

Método de cálculo

Estimación del caudal.

1. Se realiza una tabla de consumo de acuerdo a la estimación calculada de acuerdo a los porcentajes propuestos por Metcalf y Eddy, 2003.
2. Posterior a esto, se toma como flujo de operación el caudal máximo acumulado.

Diseño de la laguna de estabilización.

1. Se realizan los cálculos de estimación del área, volumen y tiempo de retención necesarios con la carga de DBO propuesta de acuerdo al Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de lagunas de Estabilización de CONAGUA.
2. Se estima el gas metano producido por la técnica propuesta por Martínez-Meyer correspondiente a desechos líquidos industriales, adaptada por Quiroz para lagunas estabilizadoras.

3. RESULTADOS.

Estimación de caudal

Se considera una generación de agua residual promedio por alumno de 25 L d⁻¹ y por trabajador académico y/o administrativo 75 L d⁻¹, de acuerdo con lo sugerido por la literatura especializada, se estima que, para una matrícula de 1 000 alumnos, y una plantilla laboral de 100 trabajadores, se tenga una generación de agua residual de 32.5 m³ d⁻¹.

De igual manera, otro factor a considerar para el diseño de la capacidad de la planta de tratamiento de aguas residuales, es la condición crítica de operación, causada por las variaciones del caudal del agua tratar y concentración de los contaminantes descritos en la tabla 1. Lo anterior se estima con base en el caudal diario promedio (32.5 m³ d⁻¹), para obtener las condiciones críticas originales por caudales pico. Por ello, se ha contemplado un caudal de generación por hora, es decir, los 32.5 m³ d⁻¹ se han distribuido entre las horas que dura la jornada académica en el Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre, cuando está ya se encuentre funcionando en sus nuevas instalaciones, por ello, se ha asumido que la jornada inicie a las 07:00 hrs. y culmine a las 21:00 hrs., es decir, una jornada laboral de 14 horas de lunes a viernes. Derivado de lo anterior, se generó una curva de generación de agua residual, misma que se detalla en la figura 2.

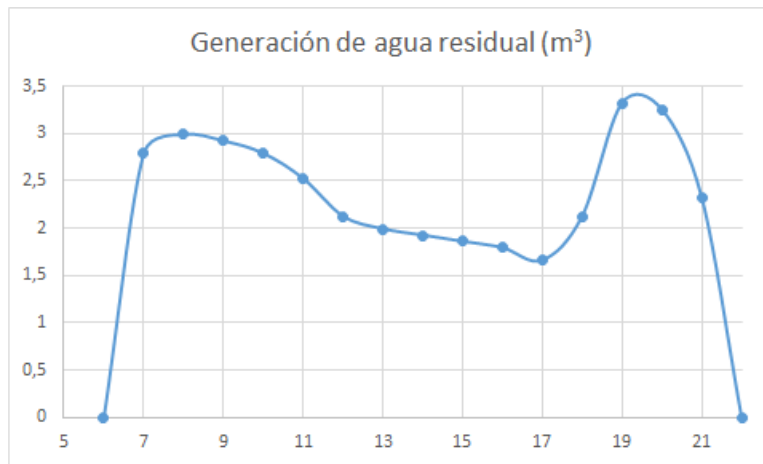


Figura 2: Estimación de las variaciones horarias en el caudal del agua residual generada en las instalaciones del ITSMT
Fuente: Propia

Cálculo de la Laguna de Estabilización:

A continuación, se describirán los cálculos para estimar el tiempo de residencia, caudales de alimentación, volúmenes totales y de trabajo del reactor biológico, se considera la DBO=DQO para ello es importante tomar en consideración los valores de DQO, mostrados en la tabla 1, el cual corresponde a 500 mg L⁻¹, así mismo, considerando un caudal acumulado máximo de agua residual se propone un flujo 46.76 m³ d⁻¹ además se considera un factor de seguridad del 10% siendo el flujo final de 50.82 m³ d⁻¹.

Para el cálculo de la laguna de estabilización con una eficiencia máxima del 85% se ocuparán las ecuaciones propuestas por el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de lagunas de Estabilización (2007).

Carga de diseño:

$$Cs = 250(1.085)^{T-20} \dots\dots\dots Ec.1$$

Donde:

T: Temperatura Media en °C durante todo el año

Sustitución:

$$Cs = 250(1.085)^{30-20} = 565.25 \frac{\text{Kg DBO}}{\text{ha d}} \dots\dots\dots Ec. 2$$

Consideración de la DBO de entrada al proceso:

De acuerdo a los parámetros de remoción ideales el proceso de tamizado remueve un 10% del DBO de entrada, alcanzando este parámetro hasta 450 mg L⁻¹, además antes de entrar al tratamiento secundario se propone un sedimentador primario el cual tiende a reducir hasta un 40% de esta, resultado una demanda de 270 mg L⁻¹ a la entrada de la Laguna de Estabilización.

Área de la Laguna:

$$A = S_i \frac{Q}{C_s * 1000} \dots\dots\dots \text{Ec. 3}$$

Donde:

A= Área de la laguna (ha)

S_i= DBO de entrada al proceso

Q= Caudal (m³ d⁻¹)

C_s= Carga de diseño kg DBO ha⁻¹ d⁻¹

Sustitución:

$$A = 270 \frac{mg}{L} * \frac{50.82 \frac{m^3}{d}}{565.25 \frac{kg DBO}{ha d} * 1000} = 0.0242 ha = 242m^2 \dots\dots\dots \text{Ec.4}$$

Volumen:

$$V = A * h \dots\dots\dots \text{Ec. 5}$$

V: Volumen (m³)

A= Área de la laguna (m²)

h= 1-2.5 m se propone una altura mínima para una eficiencia máxima de remoción de DBO del 85% demanda de salida 40 mg L⁻¹.

Sustitución:

$$V = 242 m^2 * 1 m = 242m^3 \dots\dots\dots \text{Ec. 6}$$

Ancho:

$$W = \sqrt{\frac{A}{R}} \dots\dots\dots \text{Ec.7}$$

Donde:

W= Ancho (m)

A= Área de la laguna (m²)

R= 2 (Relación de largo y ancho propuesta)

Sustitución:

$$W = \sqrt{\frac{242 m^2}{2}} = 11 m^2 \dots\dots\dots \text{Ec.8}$$

Cálculo del largo:

$$L = R W \dots\dots\dots \text{Ec. 9}$$

Donde:

W= Ancho (m)

L= Área de la laguna (m²)

R= 2 (Relación de largo y ancho propuesta)

Sustitución:

$$L = 2(11 \text{ m}) = 22 \text{ m} \dots \text{ Ec. 10}$$

Cálculo del tiempo de retención:

$$\tau = \frac{2Ah}{2Q - 0.001Ae} \dots \text{ Ec.11}$$

Donde:

A= Área de la laguna (m²)

h= Altura (m)

Q= Caudal (m³/d)

e= Tasa de evaporación promedio mensual en Martínez de la torre (m/d)

Sustitución:

$$\tau = \frac{2(242\text{m}^2)(1\text{m})}{2(50.82 \text{ m}^3\text{d}^{-1}) - 0.001(242 \text{ m}^2)(8.93 \times 10^{-6} \text{ m d}^{-1})} = 4.76 \text{ días} \dots \text{ Ec.12}$$

Producción de metano

Para el cálculo de gas metano producido se utilizó la estimación propuesta por Martínez-Meyer en el 2008 asumiendo que los caudales vertidos a las lagunas de estabilización drenan líquidos provenientes de las distintas agroindustrias cuyas cargas orgánicas serán evidenciadas en la DQO, asimismo las aguas residuales de origen domiciliar se verán caracterizadas a través de la DBO.

$$Wm = Q (DQO \text{ ó } DBO) SBF * FE * FTA \dots \text{ Ec. 13}$$

Donde:

Wm: Emisión anual de CH₄ procedente de aguas residuales domesticas (Kg año⁻¹)

Q: Caudal (L d⁻¹)

DQO / DBO: Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno (Kg L⁻¹)

SBF: Fracción de DBO/DQO que sedimenta rápidamente, 0.5.

FE: Factor de Emisión, 0.80 Kg de CH₄/Kg de DBO, 0.25 Kg de CH₄/Kg de DQO.

FTA: Fracción de DBO/DQO presente en lodos que se degradan anaeróbicamente es 1, en caso del sistema facultativo 0.8.

Sustitución:

$$Wm = 50820 \frac{L}{d} * 0.270 \frac{Kg}{L} * 0.5 * 0.8 * 0.8 = 4390.85 \text{ Kg } \frac{CH_4}{\text{año}} \dots \text{ Ec. 14}$$

4. CONCLUSIONES

Se concluye que para obtener una eficiencia máxima del 85% (DBO final de 40.5 mg L⁻¹) se necesita de un área aproximada de 242 m² además de un tiempo de retención de 4.76 (aproximadamente 4 días con 18 horas), dicha área se encuentra disponible en el ITS de Martínez de la Torre.

A pesar de alcanzar una eficiencia próxima al 92% de la DBO inicial, el promedio mensual para la protección de la vida acuática es de 30 mg L⁻¹, por lo que se recomienda el uso de desarenadores y un sedimentador secundario para alcanzar el parámetro establecido.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda validar el cálculo realizado y las reducciones de los parámetros de acuerdo a los reales una vez que se construya la obra.

Además, debido al caudal de agua residual generado, puede resultar más económico y con menos requerimientos de área el uso de un humedal artificial.

Se recomienda que una vez establecido el sistema de tratamiento se monitoree el flujo de agua residual para establecer si es necesario un tanque de homogenización para prevenir un sobre flujo o escases de agua dentro del proceso.

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al ITS de Martínez de la Torre, por el apoyo para elaborar dicho proyecto y a la academia de Ingeniería Ambiental.

REFERENCIAS

- [1] Crites, R. y Tchobanoglous, G. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Segunda edición. McGraw Hill: Colombia.
- [2] Diario Oficial de la Federación de México. (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. México.
- [3] FAO y FIDA. 2006. El agua para la alimentación, la agricultura y los medios de vida rurales. En: El agua, una responsabilidad compartida. 2° Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo.
- [4] CONAGUA. 2007. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de lagunas de Estabilización. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10DisenoDeLagunasDeEstabilizacion.pdf>
- [5] Google Earth Pro. 2020. Instituto Tecnológico Superior de Martínez de la Torre. Martínez de la Torre, Veracruz.
- [6] Martínez-Meyer, M. R. 2008. Análisis comparativo de las lagunas de estabilización de la EAP, bajo condiciones anaerobias con fines energéticos. Honduras.
- [7] Metcalf y Eddy. 2003. Waste engineering: treatment and reuse. 4th ed. McGraw-Hill, Nueva York.

Correo de autor: malopez@tecmartinez.edu.mx