

Diseño de la instalación de una pequeña planta de tratamiento de aguas residuales utilizando un Reactor Biológico Tubular en los canales de Xochimilco

Sergio Adrián García-González*, Grecia Carolina Ramón-Montejo y Alfonso Durán-Moreno

Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), laboratorio 301 edificio "E", Ciudad universitaria, Cp.04510, México, Ciudad de México

*Autor de Correspondencia: e-mail: cheko29@hotmail.com, Tel.: 015556225293 – Fax: 015556225303.

Recibido: 23 de agosto de 2021

Aceptado: 10 de septiembre de 2021

Resumen: Este trabajo plantea la generación de un anteproyecto basado en el proceso de tratamiento biológico denominado Reactor Biológico Tubular (RBT), para tratar las descargas de aguas residuales que contaminan los canales de Xochimilco. El enfoque principal del trabajo es: mediante el uso de la metodología FEL generar un diseño de la instalación de una pequeña planta de tratamiento de aguas residuales y así poder establecer un tren de tratamiento basado en la tecnología RBT y así plasmarlo en un diagrama de bloques de proceso, posteriormente construir el Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) el cual incluye los equipos de pretratamiento y tratamientos principales que conforman el tren de tratamiento, se elaboró un balance de materia que considera como efluente un agua residual urbana en el afluente de la planta, los sistemas analizados en el balance de masa son; pretratamiento, los lodos producidos por el reactor biológico así como su tratamiento, los sistemas de aireación y la desinfección del efluente. Para cumplir la NOM- 003- SEMARNAT-1997. Con el balance de masa completo se construyó el diagrama de tubería e instrumentación (DTI) y se realizó un diagrama de planta para ubicar los equipos, esta metodología permitió generar un diseño que puede ser aplicado en varios puntos de los canales de Xochimilco principalmente donde ocurran descargas de aguas residuales.

Palabras clave: Pequeña planta de tratamiento de agua residual; FEL aplicado a tratamiento de aguas residuales; reactor biológico tubular.

Design of the installation of a small wastewater treatment plant using a Tubular Biological Reactor in the Xochimilco canals

Abstract: This work proposes the generation of a preliminary project based on the biological treatment process called the Tubular Biological Reactor (RBT), to treat the wastewater discharges that contaminate the Xochimilco canals. The main focus of the work is: through the use of the FEL methodology to generate a design for the installation of a small wastewater treatment plant and thus be able to establish a treatment train based on RBT technology and thus translate it into a diagram of process blocks, subsequently constructing the Process Flow Diagram (DFP) which includes the pre-treatment equipment and main treatments that make up the treatment train, a material balance was prepared that considers urban wastewater as effluent in the tributary of the plant, the systems analyzed in the mass balance are; pretreatment, the sludge produced by the biological reactor as well as its treatment, the aeration systems and the disinfection of the effluent. To comply with NOM- 003- SEMARNAT-1997. With the complete mass balance, the pipeline and instrumentation diagram (DTI) was built and a Layout diagram was made to locate the equipment, this methodology allowed to generate a design that can be applied at various points of the Xochimilco channels, mainly where sewage discharges occur. wastewater treatment; tubular biological reactor.

Keywords: Small wastewater treatment plant; FEL applied to wastewater treatment; tubular biological reactor.

Introducción

Xochimilco es una zona urbana-rural donde la mayoría de sus asentamientos se catalogan como irregulares (Imaz, 2017) por lo cual no cuentan con drenaje, además no existe la posibilidad de instalar una red de saneamiento, porque sería muy costosa y de difícil acceso debido a los predios ya habitados (Castro, 2017). En el 2016 se llevó a cabo un censo de descargas de aguas negras y grises en los canales de Xochimilco coordinado por la UNAM II donde se reportó que: en 116 kilómetros de canales, se detectó que en sus márgenes hay un total de 1374 descargas, de las cuales 603 son de aguas negras y 771 de grises pertenecientes a 917 predios. (IINGEN, 2017), Bojórquez en el 2017 menciona que, la contaminación en los canales de Xochimilco presenta graves afectaciones en la calidad del agua, se han detectado concentraciones de 201-199 mg/L de DQO y hasta 2000 NMP/100mL estos valores se encuentran fuera de normatividad. La contaminación se ve mayormente afectada en la zona lacustre de los canales, también, se han muestreado diversas zonas de los canales encontrando en el ecosistema presencia de hidrocarburos, plásticos, pesticidas, detergentes, derivados del azufre, nitritos y NO_x, nitrógeno amoniacal, fosfatos y metales pesados ocasionados por las múltiples descargas a los canales. (Castro, 2017, Imaz 2017, Sarma, 2016)

Una posible solución a la problemática detectada en Los canales de Xochimilco; es tratar las descargas de aguas residuales antes de que desemboquen en los canales para esto se propone utilizar sistemas de tratamiento de aguas residuales a pequeña escala denominados Small Waste Water system SWWS por sus siglas en inglés. Según la EPA (United States Environmental Protection Agency) se considera que un sistema de aguas residuales es pequeño si atiende a una comunidad con una población de 10,000 o menos y un flujo diario promedio de aguas residuales de menos de 3786 m³. (EPA, 2021). Para lograr y mantener sistemas sostenibles de tratamiento de aguas residuales en comunidades pequeñas se enfrentan diversos desafíos que incluyen limitaciones económicas/financieras, incapacidad para atraer y mantener operadores de sistemas, topografía y condiciones climáticas extremas y lejanía.

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua. El objetivo principal del tratamiento de aguas residuales es producir un efluente reutilizable en el ambiente y un residuo sólido al que comúnmente se le nombran “lodos biológicos” que son convenientes para su disposición con un tratamiento previo antes de ser utilizados.

La complejidad de un tren de tratamiento dependerá de los objetivos propuestos y del análisis previo, los procesos y operaciones se combinan y complementan para dar lugar a diversos niveles de tratamiento. Los términos “pretratamiento” y/o “primario” se refieren a las operaciones físicas unitarias, el término “secundario” se refiere a los procesos químicos o biológicos unitarios y se conoce como “tratamiento secundario” y/o “avanzado” a la desinfección. (CONAGUA 2019).

La tecnología principal de este proyecto es el Reactor Biológico Tubular (RBT) (con solicitud de patente Mx/a/2017/014623), este reactor utiliza una novedosa tecnología de fijación de biomasa que le permite ser compacto dándole la capacidad de ser instalado en sitios donde se requiera un tratamiento de agua a pequeña escala. (García-González, Durán-Moreno, 2017).

Por otro lado, las bases de diseño de ingeniería sirven para identificar posibles desventajas y desafíos permitiendo visualizar las problemáticas asociadas a la instalación de la tecnología, existen varias herramientas metodológicas para este fin una de las más importantes es la metodología Front-End-Loading (FEL por sus siglas en inglés) (Saputeli 2013) la cual se utilizó en este trabajo. El anteproyecto de instalación de la tecnología para el tratamiento de las descargas de aguas residuales de Xochimilco nos brinda una solución práctica y viable que apoyará los objetivos enmarcados en el punto 6. (Agua y Saneamiento) de la agenda de los Objetivos y metas del desarrollo sostenible, principalmente lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y accesibles para todos, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación y reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar. (ONU, 2021)

El objetivo de este trabajo fue generar un diseño de ingeniería de una pequeña planta de tratamiento de aguas residuales basado en la tecnología RBT mediante la metodología Front-End-Loading, FEL para el tratamiento de las descargas de aguas residuales que se vierten en los canales de Xochimilco y así generar un sistema generalizado que permita replicar este tipo de sistemas dentro de la zona de canales.

Materiales y Métodos

Para llevar a cabo la Ingeniería del proyecto se decidió utilizar la metodología FEL Front-End-Loading, esta metodología tiene como objetivo aumentar la eficacia e intentar minimizar los posibles riesgos y errores técnicos del proyecto. Esta metodología se asevera en la revisión de entregables asegurando que cumplan con la calidad requerida y que la información proporcionada sea fidedigna, se encarga de controlar de una manera muy eficaz y estructurada el tiempo en que se realizan las actividades ya programadas y que los alcances y objetivos ya establecidos se cubran por completo.

La metodología FEL consiste en un sistema de “compuertas” imaginarias, donde para poder avanzar a la siguiente etapa del proyecto es necesario que todos los entregables sean aceptados y que todas las actividades propias de esa etapa estén concluidas con éxito. El enfoque en este trabajo es hacia la parte de proceso, dejando de lado documentos y especialidades de ingeniería que por la índole del proyecto no son posibles de compartir.

En la Ingeniería del Proyecto en la parte de proceso abarcó las tres etapas fundamentales que son:

- Ingeniería conceptual
- Ingeniería básica
- Ingeniería de detalle

Cada una de estas etapas contienen entregables específicos y actividades que van dando cuerpo al proyecto.

La Ingeniería conceptual, en esta etapa se realizó una investigación previa sobre la contaminación documentada en Xochimilco, tecnologías aplicadas, y parámetros que se tomaran en cuenta para el diseño del proceso.

En esta etapa de la ingeniería se fijaron objetivos, se estudiaron las tecnologías más eficaces para el proyecto que se podrían integrar al RBT, se define el marco normativo, los requerimientos del espacio y se establecieron las especificaciones técnicas conceptuales por lo cual se fija una línea base.

El sistema de tratamiento principal (RBT) está conformado por 8 tubos de 6" de PVC cedula 80 lo que les confiere resistencia a altas presiones, la longitud de cada tubo es de 2 metros por lo que en total nos proporciona 16 metros de tratamiento, en estos 16 metros del reactor tubular se localiza internamente una fibra polimérica no tejida de poliéster en una configuración especial que sirve de soporte para los microorganismos que degradan la materia orgánica del agua residual a tratar. El sistema contempla un sistema de pretratamiento y un sistema de desinfección.

Al concluir la etapa conceptual se inicia la Ingeniería básica, que tiene por objetivo definir los equipos del tren de tratamiento, se seleccionaron los equipos electromecánicos de acuerdo a fichas técnicas de proveedores, entre los entregables de esta etapa se encuentran el DFP (Diagrama de flujo de proceso) y se plantean las bases para el balance de Materia los documentos ya mencionados son de gran importancia ya que en conjunto conformaran la pequeña Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. para realizar el balance de materia se consideró que el agua del efluente de la Planta de Tratamiento deberá cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, para lograr esto el proceso elegido es un tren de tratamiento; que constará de tratamiento primario, tratamiento secundario (tratamiento biológico) y tratamiento terciario (etapa de desinfección).

La Ingeniería de Detalle del proceso se definieron todos y cada uno de los subsistemas, componentes o partes que integran el proyecto, de tal manera que lo documentos que se desarrollan han de ser suficientes para llevarlo a la práctica (Morote, 2013), en esta etapa se desarrolló el Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) y el plano de localización de equipos (lay out).

Resultados y Discusión

Se tomaron como base 2 puntos de descarga de aguas residuales que provienen de las calles que conforman el Barrio de San Lorenzo en Xochimilco, estas dos tomas se eligieron por ser el conducto final de varias descargas. Para el diseño del tren de tratamiento se tomaron en cuenta valores comúnmente reportados para aguas residuales domesticas los valores se describen en la Tabla 1 y se tomó como base un flujo total de 28 L/min. (que es el flujo que puede tratar el RBT por día).

Tabla 1. Parámetros iniciales tomados para realizar el diseño del tren de tratamiento

Parámetro	Unidades	Valor
DQO	mg/L	400
SST	mg/L	500
N-NH4	mg/L	50
Densidad	kg/m3	1000

Valores obtenidos de la literatura (Tchobanoglous 1991) "Tratamiento y depuración de las aguas residuales" 1991. (López, Buitrón, Garcia y Cervantes 2017) "Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño"

Dadas estas condiciones se planteó el siguiente tren de tratamiento que consiste en:

Tratamiento de agua.

1. Cárcamo de recolección con bomba sumergible de las corrientes a tratar
2. Hidrociclón
3. Criba estática
4. RBT
5. Desinfección

Tratamiento de lodos biológicos.

1. Filtrado a presión (filtros malla)

Como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 1



Figura 1. Diagrama de bloques del proceso.

Descripción del proceso

Se estableció un flujo de 28 L/min de aguas residuales la cual llega a un pequeño tanque llamado tanque de recolección, donde una bomba sumergible con un rotor tipo vortex, (este tipo de bomba permite su funcionamiento con pequeñas trazas de arenas sin que su funcionamiento se vea afectado, por lo cual es un equipo adecuado para el manejo de un afluente primario), este equipo traslada el flujo al hidrociclón, la función de este equipo es separar las arenas para evitar daños a equipos subsecuentes, posteriormente el agua entra a la criba estática parabólica que separa sólidos suspendidos no sedimentables mayores a 1 mm que descarga a un cárcamo secundario de donde es bombeada al reactor biológico tubular (RBT) que es la parte medular del tren de tratamiento esto es debido a que en este se realiza el tratamiento biológico principal reduciendo considerablemente la carga orgánica de agua cruda, así como el nitrógeno amoniacal, el sistema biológico se ha modelado en Aquasim que es un software especializado en simular este tipo de procesos (López-López 2021) los resultados de estas simulaciones ha demostrado ser una opción factible para aguas residuales domesticas a pequeña escala, aunado a esto hay pruebas experimentales que demuestran que el sistema biológico permite tratar aguas residuales de una manera eficiente y cumpliendo la Norma NOM-003-SEMARNAT-1997 (García y Durán, 2010). El agua tratada se dirige a la zona de desinfección donde se encuentran una lampara de luz UV, cloración y tecnología Electro-Fentón los dispositivos se encuentran en paralelo ya que se realizará un estudio para definir la mejor forma de desinfectar el efluente tratado del RBT.

Por otro lado, en una operación normal del sistema de tratamiento los lodos biológicos que se generan en el Reactor biológico son purgados 1 vez cada semana, los cuales pasan por un filtro de malla de 130 micrómetros para separarlos de la corriente de agua, los lodos deshidratados se tratan por medio de estabilización alcalina para que puedan cumplir con la normatividad NOM-004-SEMARNAT-2002.

Para concluir la ingeniería básica se realizaron los diseños del Diagrama de Flujo del Proceso (DFP) (Figura 2) que incluye todos los equipos electromecánicos y de proceso, y para la parte de detalle el de proceso, el diseño más detallado se

encuentra en el Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) que muestra la instrumentación requerida para cada equipo el cual se muestra e la Figura 3.

Los diagramas presentados están respaldados por los cálculos del balance de masa de cada operación unitaria. Para el balance de masa, se tomaron en cuenta los valores más representativos para agua residual (Tabla 2) , se calculó cada unidad que conforma el proceso tomando en cuenta los criterios de diseño encontrados en manuales y bibliografía especializadas (López Vázquez *et al.* 2017, WEF 2011, Wiesmann, 2007), toda la información se concentró en una Hoja de Excel que permitió definir rápidamente el tamaño o la especificación del equipo necesario de cada elemento para así validar el tren de tratamiento propuesto, esta herramienta permitirá una ágil selección e implementación de la tecnología en la Tabla 2 se muestran los valores arrojados la entrada y salida del tren de tratamiento.

Tabla 2. Resumen de balance de masa Entradas y Salidas

Descripción	Unidades	Ingreso al sistema	Salida del sistema
Fase		Líquido	Líquido
Caudal	m ³ /h	1.68	1.68
DQO	mg/L	400	10
NH ₄	mg/L	50	0.33
Sólidos	mg/L	500	5

La metodología FEL acepta un proyecto cuando los objetivos que se plantearon desde la Ingeniería conceptual se cumplen, tomando en cuenta la normativa correspondiente, en este caso la normativa correspondiente es la NOM-003-SEMARNAT-1997, el balance de masa es la base para aceptar el diseño del tren de tratamiento que se planteó, los valores que se muestran entran en los límites permisibles que nos señala la norma, esto quiere decir que el diseño se realizó correctamente y que la ingeniería está terminada.

Con esto se puede diseñar el Lay out de la instalación la Figura 4 muestra el acomodo de la instalación esta se tiene que acoplar a los espacios proporcionados por la Alcaldía.

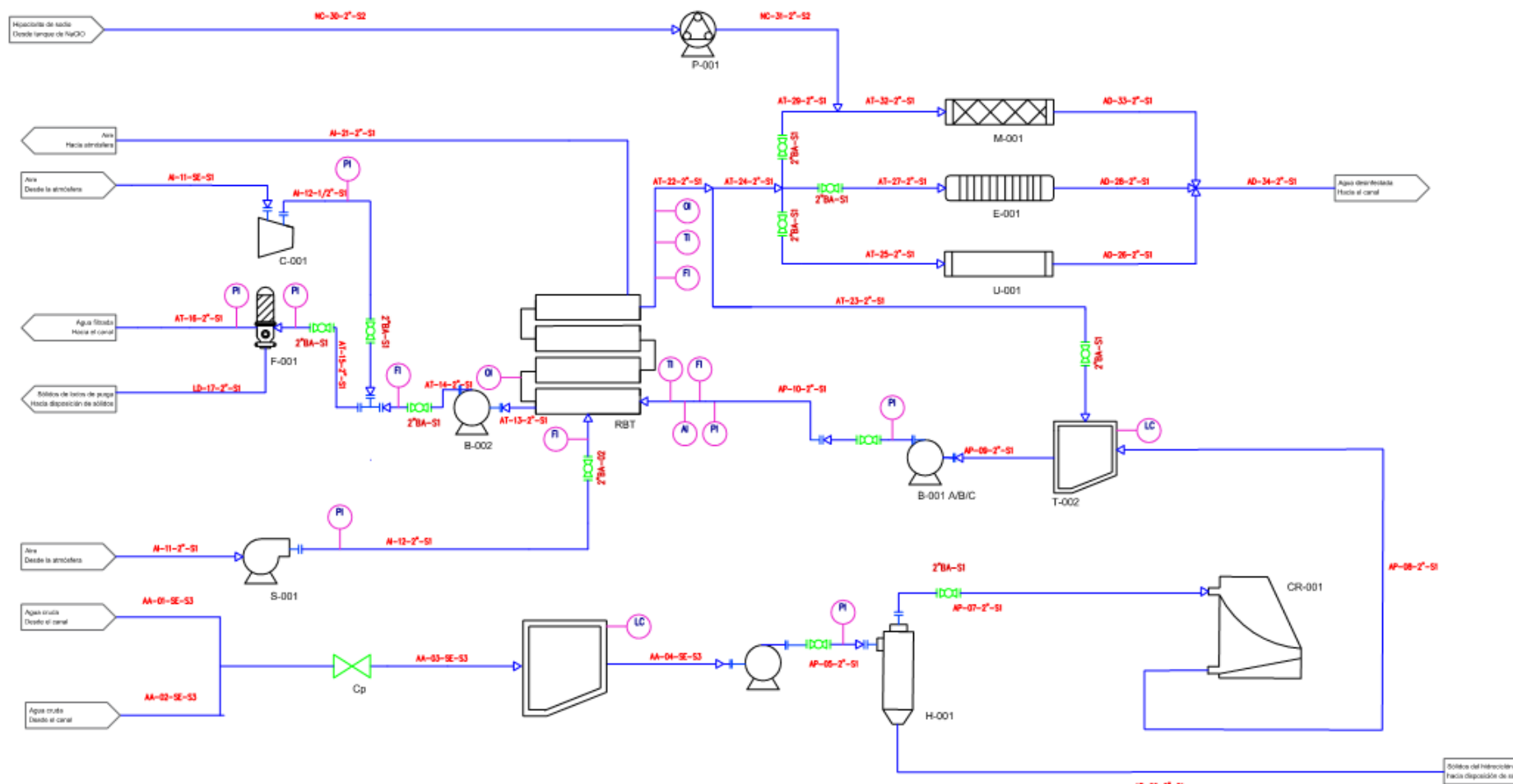


Figura 3. Diagrama de Tuberías e Instrumentación.

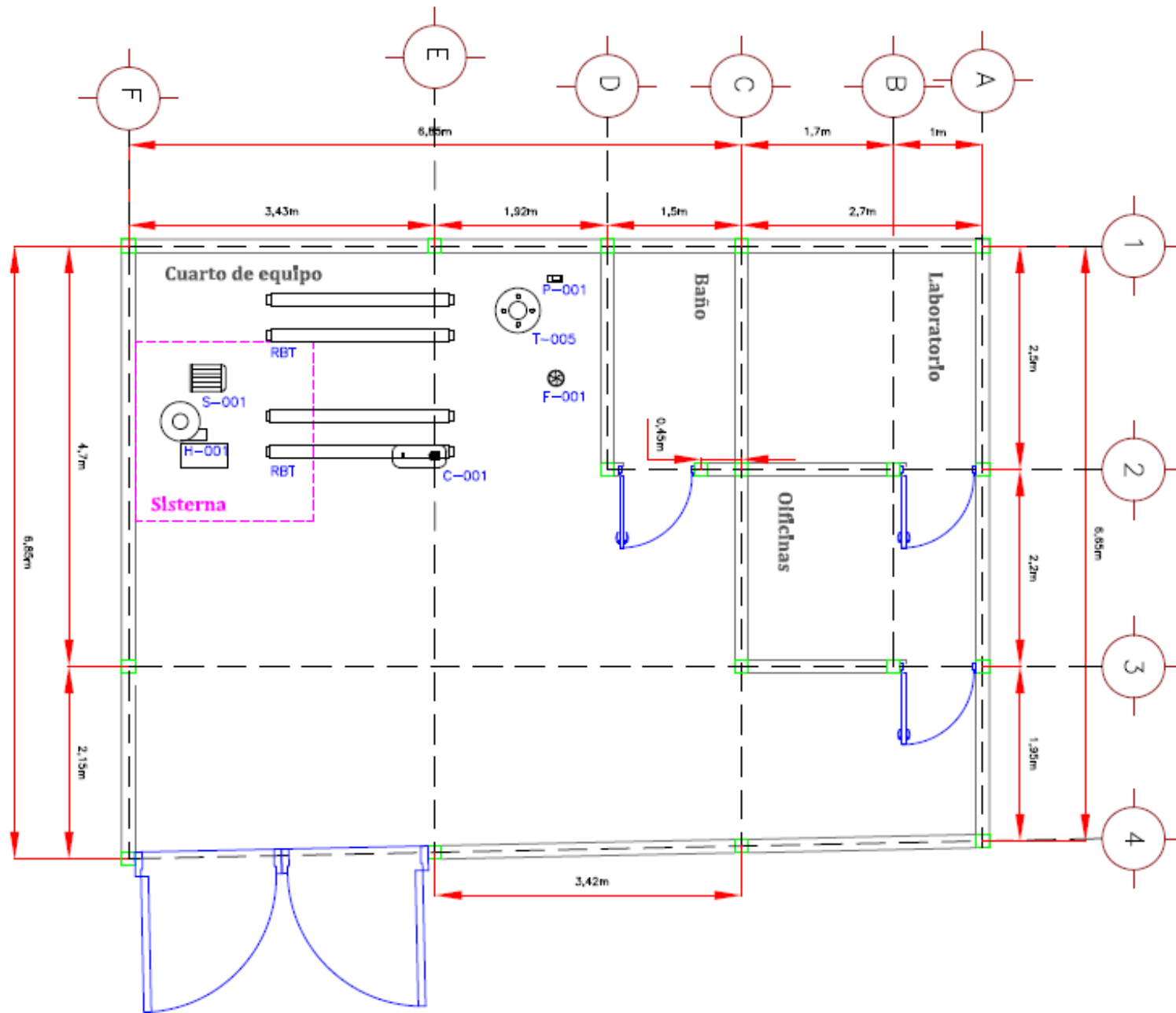


Figura 4. Lay-Out

Conclusiones

La metodología FEL permitió una adecuada planeación para el diseño de un tren de tratamiento de una pequeña planta de tratamiento de aguas residuales, se generaron documentos de ingeniería que permitirán la construcción de los espacios y procesos que están involucrados en el tratamiento

El DFP y DTI desarrollados en este trabajo permite visualizar el tren de tratamiento propuesto, mientras que los valores obtenidos en el balance de masa indican que el tren de tratamiento cumple con la NOM-003-SEMARNAT-1997

El anteproyecto es una propuesta técnica viable que permitirá el saneamiento de dos descargas de aguas residuales en los canales de San Lorenzo Xochimilco, la réplica de estas pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales en las descargas que se localizan a lo largo de los canales puede ser una alternativa técnicamente viable para solucionar la problemática encontrada en el sitio, este tipo de proyectos permitirá tener una alternativa adicional que abone al cumplimiento del Objetivo 6 de la ODS, lo cual permitirá un cambio ambiental significativo en los ecosistemas.

Agradecimientos

A la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la CDMX (SECTEI) por los recursos destinados al proyecto “PROYECTO: CM- SECTEI/057/2021 “Tratamiento y reúso in situ de aguas residuales en espacios públicos de la CDMX mediante procesos biológicos y fisicoquímicos, en módulos tubulares compactos y de bajo costo”.

Bibliografía

- Castro, L. B. (2017). Contaminación Química y Biológica en la zona lacustre de Xochimilco. México: UAM.
- Conagua, (2019) Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: pretratamiento y tratamiento primario. 2019
- EPA. (22 de agosto de 2021). Learn about Small Wastewater Systems. Obtenido de United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/small-and-rural-wastewater-systems/learn-about-small-wastewater-systems>
- García González, S.A Durán Moreno . A (2017). Biological tubular reactor, new technology for small wastewater treatment plants.
- IINGEN. (02 de Mayo de 2017). Reciben canales de Xochimilco descargas de aguas negras. Obtenido de El IUNAM en Prensa: <http://www2.iingen.unam.mx/es-mx/difusion/Lists/EIUNAMEnPrensa/DispForm.aspx?ID=491>
- Imaz Gispert Mireya, Informe UNAM. (2017). Análisis del estado de conservación ecológica del sistema lacustre chinampero de la superficie reconocida por la UNESCO como Sitio Patrimonio de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta. CDMX: UNAM.
- López Vázquez, C., Buitrón Méndez, G., García, H., & Cervantes Carrillo, F. (2017). Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios Modelación y Diseño. U.S.A: Cambridge University Press.
- López-López José Luis, (2021), Simulación Y Modelación De Un Reactor Biológico Tubular Para El Tratamiento De Aguas Residuales, Mediante La Estimación De Parámetros En AQUASIM Facultad De Química Universidad Nacional Autónoma De México Tesis de licenciatura,
- Morote, A. M. (Febrero de 2013). OCW UPCT. Obtenido de Tema 4. Ingeniería de Detalle: <https://ocw.bib.upct.es/course/view.php?id=140&topic=3>
- NOM-003-SEMARNAT-1997. (s.f.). Nom-003-semarnat-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes. obtenido de Normas Oficiales Mexicanas:
- ONU. (10 de Mayo de 2021). Objetivos De Desarrollo Sostenible. Obtenido de ONU: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Quiroz Flores Agustin, M. G. (2008). Estudio comparativo de algunas variables fisicoquímicas del agua en canales secundarios de Xochimilco con y sin Eichhornia Crassipes (Martius) Solms-Laubach. Polibotánica, 127-133.
- Saputeli, L. (2013). Front-End-Loading (FEL) Process Supporting Optimum Field Development Decision Making. SPE International, 1-12.
- Sarma Nandini, P. R. (2016). Water quality indicators in Lake Xochimilco, Mexico: zooplankton and Vibrio cholerae. J. Limnol, 91-100.
- Tchobanoglous, F. L. AND STENSEL, H. D., 1991. Metcalf and Eddy, Inc.; Wastewater engineering treatment, disposal and reuse. New York: Mc Graw Hill.
- Water Environment Federation, 2011. Biofilm reactors, WEF Manual of Practice No. 35. New York: McGraw-Hill.