

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Instrumentación de una planta paquete de tipo tubular para el tratamiento de aguas residuales.**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Mecatrónico**

**P R E S E N T A**

Ricardo Said Martínez Santiago

**DIRECTOR DE TESIS**

M. en A. Luis Yair Bautista Blanco

****

**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020**

# Índice

[Índice 2](#_Toc55298736)

[Introducción 4](#_Toc55298737)

[Antecedentes 5](#_Toc55298738)

[1. Planteamiento del problema 6](#_Toc55298739)

[1.1 Justificación 6](#_Toc55298740)

[1.2 Objetivo general 6](#_Toc55298741)

[1.3 Objetivos específicos 6](#_Toc55298742)

[2. Identificación de Necesidades y Especificaciones 6](#_Toc55298743)

[2.1 Necesidades por subsistema 6](#_Toc55298744)

[2.2 Especificaciones por subsistema 6](#_Toc55298745)

[2.3 Restricciones por subsistema 6](#_Toc55298746)

[3. Diseño conceptual 6](#_Toc55298747)

[3.1 Sistematización 6](#_Toc55298748)

[3.2 Generaciones de conceptos 6](#_Toc55298749)

[3.3 Selección y evaluación de conceptos 6](#_Toc55298750)

[4. Diseño de configuración 7](#_Toc55298751)

[4.1 Análisis por subsistema 7](#_Toc55298752)

[4.2 Configuración por subsistema 7](#_Toc55298753)

[4.3 Configuración general 7](#_Toc55298754)

[5. Diseño de detalle 7](#_Toc55298755)

[5.1 Subsistema de Interfaz 7](#_Toc55298756)

[5.2 Subsistema de Instrumentación 7](#_Toc55298757)

[5.3 Subsistema de Bombas y Energía 7](#_Toc55298758)

[5.4 Subsistema de ensamble 7](#_Toc55298759)

[5.5 Sistema general 7](#_Toc55298760)

[6. Creación de un modelo virtual 7](#_Toc55298761)

[6.1 Subsistema de Interfaz 7](#_Toc55298762)

[6.2 Subsistema de Instrumentación 7](#_Toc55298763)

[6.3 Subsistema de Bombas y Energía 7](#_Toc55298764)

[6.4 Subsistema de ensamble 8](#_Toc55298765)

[6.5 Sistema general 8](#_Toc55298766)

[7. Pruebas y Resultados 8](#_Toc55298767)

[8. Conclusiones 8](#_Toc55298768)

[9. Trabajo a futuro 8](#_Toc55298769)

[10. Referencias 8](#_Toc55298770)

[Apéndices 8](#_Toc55298771)

# 

# Introducción

En el presente documento se explica la instrumentación y automatización de una planta paquete de tipo tubular para el tratamiento de aguas residuales con la finalidad de operarlo de manera manual y remota en colaboración con la Facultad de Química.

En el documento se explica el desarrollo, forma de trabajo y partes involucradas dentro del proyecto con el objetivo de crear un modelo virtual que cumpla con las necesidades planteadas por los responsables del proyecto.

En el capítulo 1 se explica el planteamiento del problema en un proyecto iniciado por la Facultad de Química y que es llevado a la materia de Diseño Mecatrónico del semestre 2020-2 para agregar características que simplifiquen las operaciones de uso.

En el capítulo 2 se explican las necesidades y especificaciones del proyecto, así como su obtención por medio de recopilación de información.

En el capítulo 3 se presenta el diseño conceptual con base en la sistematización utilizando modelos de caja negra, esto con la finalidad de observar las interrelaciones que se tienen entre subsistemas. Se finaliza con la generación, evaluación y selección de conceptos.

En el capítulo 4 se realiza el diseño de configuración en cada uno de los subsistemas para formar la configuración general del proyecto.

En el capítulo 5 se realiza el diseño de detalle de cada uno de los subsistemas y se desarrollan modelos virtuales que permitan entender el funcionamiento conjunto del proyecto.

En el capítulo 6 se realiza la creación del entorno virtual que permite desplegar cada uno de los modelos virtuales generados y la presentación de estos en una exposición organizada por la Facultad de Ingeniería.

# Antecedentes

Dentro de la asignatura de Diseño Mecatrónico del semestre 2020-2, en el que el autor del presente trabajo estuvo inscrito, impartida por el M. en A. Luis Yair Bautista Blanco, se estudiaron los fundamentos y metodologías del proceso de diseño con el objetivo de aplicar un método de diseño e implementarlo en un sistema funcional. El profesor tomó como base el proyecto “Reactor Biológico Tubular” (RBT) para implementar la aplicación del proceso de diseño, este proyecto se comenzó a trabajar en conjunto con el Dr. Alfonso Durán Moreno y el Dr. Sergio Adrián García González de la Facultad de Química de la UNAM. La finalidad del reactor era degradar biológicamente los contaminantes disueltos en el agua residual por medio de un material basado en bioparticulas que desarrollaron los responsables del proyecto. Para su colocación, los responsables del proyecto diseñaron un circuito tubular de ocho vías por donde se colocaría el material de purificación. Se buscaba instalar el RBT en el lago de Xochimilco por lo que su uso debía de controlarse de manera remota y para ello se buscaba integrar componentes periféricos mediante técnicas de instrumentación y automatización para monitorear y operar el sistema a distancia y en campo.

# Planteamiento del problema

Una de las primeras actividades dentro del desarrollo del proyecto fue una visita guiada por el Dr. Sergio Adrián García González y uno de sus ayudantes a la Facultad de Química con la finalidad de mostrar la propuesta de diseño del sistema tubular de 8 vías, el material basado en bioparticulas y recabar los requerimientos de cada subsistema. El diseño del sistema tubular estaba conformado por 8 tubos de PVC de 4 in sujetados con abrazaderas de doble perno y acoplados por medio de bujes de reducción 4 x 2 in tal como se puede observar en la Figura 1.



*Figura 1.* Sistema tubular de 8 vías con sus respectivos accesorios.

Dicho sistema se encontraba en fase inicial de manufactura y se tenían los materiales para su continuación. El material basado en bioparticulas se colocaría en la parte interior de los tubos de 4 in por medio de un bastidor como estructura de soporte interno y por donde circularía el agua residual en los laterales, finalmente el agua tratada llegaría a un sistema de almacenamiento para su reúso. A fin de verificar la calidad del agua, se utilizaba el censado, tanto antes como después, de las variables pH, oxígeno disuelto y turbidez por medio de sensores en pruebas de laboratorio y a escala. Es preciso señalar que al utilizar un sistema tubular en donde existe un fluido en movimiento, es necesario considerar la variable de turbulencia para ampliar el enfoque del RBT. La instalación del RBT se llevaría a cabo en la Zona Lacustre de Xochimilco (ZLX) en el sureste de la Ciudad de México para lo cual se necesitaba controlar el reactor a distancia con la finalidad de mejorar la eficiencia.

## Justificación

Xochimilco es una zona lacustre ubicada en el sureste de la Ciudad de México (Figura 2), cuya superficie es de 12,517 hectáreas que representan el 8.40% del área total de la Ciudad de México [1]. En la delegación Xochimilco habitan cerca de medio millón de personas [2] lo que la convierte en la novena delegación más poblada de la Ciudad de México.

*Figura 2.* Mapa de la localización de la Alcaldía Xochimilco

*Figura 3.* Lago de Xochimilco, zona lacustre de la Ciudad de México

El lago de Xochimilco es uno de los cinco lagos que forman la cuenca lacustre del Valle de México en el centro de la República Mexicana (Figura 3). Aunque en la actualidad se encuentra reducido a unos pocos canales que riegan la mitad norte de la delegación Xochimilco y el poniente de Tláhuac, su superficie abarcaba una parte importante de lo que hoy es Iztapalapa y Coyoacán [3].

Sus característicos canales son producto del sistema agrícola de chinampas y actualmente conforman una red de 176 km de canales de los cuales 14 son utilizados para recorridos turísticos [4]. Xochimilco fue declarado por la UNESCO en 1987 como Patrimonio Cultural de la Humanidad por su cultura lacustre, su sistema agrícola que permite la subsistencia de la unidad productiva-económica y por su ecosistema que contribuye a la viabilidad ecológica de la Ciudad de México, pero a este reconocimiento hay que agregar que, de la zona de Xochimilco, Chalco y Tulyehualco se extrae la cuarta parte del agua que abastece la zona metropolitana de la Ciudad de México [4].

A pesar de que en el año 2016 se tenían registradas 271 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTARs) en la Ciudad de México [5], de las cuales 10 pertenecen a la delegación Xochimilco (Figura 4), en 116 kilómetros de canales de la zona lacustre, divididos en 253 tramos, se detectó que en sus márgenes hay un total de mil 374 descargas irregulares, de las cuales 603 son de aguas negras y 771 de grises [6].



*Figura 5.* Mapa de distribución de PTARs en la Ciudad de México.

*Figura 4.* Número de plantas de tratamiento de aguas residuales por delegación.

Las PTARs del sureste de la Cuenca de México, los escurrimientos de terrenos urbanizados o con actividades agrícolas o pecuarias, son las principales fuentes, unas puntuales y otras difusas de contaminantes, a las zonas lacustres y urbana de Xochimilco [7].

El principal aporte a la ZLX de contaminantes químicos al agua de canales y lagunas y, en consecuencia, al suelo agrícola y a los organismos que dependen del agua, son los vertidos de las plantas de tratamiento que desembocan en el lago, como son la del Cerro de la Estrella, la de San Lorenzo en Tláhuac y la de San Luis Tlaxialtemalco, así como las de viviendas aledañas a los canales que no están conectadas a la red de alcantarillado (Figura 6).

*Figura 6.* Plantas de tratamiento de aguas negras del Cerro de la Estrella (PTCE), de San Luis Tlaxialtemalco (PTSLTL) y algunas descargas de aguas tratadas en la ZLX: Parque Ecológico de Xochimilco (PEX), Parque Cuemanco (PC), Embarcadero Fernando Celada (EFC), Embarcadero Nativitas (EN), Embarcadero San Diego (ESD).

En la evaluación cualitativa/semi-cuantitativa de contaminantes orgánicos en agua del área natural protegida de Xochimilco [8] se detectaron 89 sustancias orgánicas presentes en agua, las cuales se dividieron en 5 grupos principales en función de su uso: Doméstico (productos de cuidado personal, cosméticos, alimenticios, fármacos y de la salud), Agroquímicos (plaguicidas herbicidas, fungicidas), Industrial (petroquímica, química y farmacéutica), de Degradación (biológica, química) y otros (Figura 7).



*Figura 7.* Contribución de contaminantes orgánicos en función de su uso.

Lo que demuestra que la mayor contribución de contaminantes proviene de diversas ramas de la industria química como la de plásticos, farmacéutica, petroquímica y de síntesis con un valor aproximado del 43% de las sustancias identificadas [8], seguido de las sustancias domésticas con un valor alrededor del 20% y la menor contribución se debe a las sustancias agroquímicas con un valor cercano al 7%

## Objetivo general

Instrumentar y automatizar una planta tubular virtual para el tratamiento de aguas residuales y desplegar la información de las variables de estudio en una interfaz para el usuario.

## Objetivos específicos

1. Diseñar modelos virtuales de cada componente interno y periférico del Reactor Biológico Tubular.
2. Integrar los modelos virtuales en una plataforma de realidad virtual.
3. Desplegar la información del comportamiento de las variables de pH, oxígeno disuelto, turbidez y turbulencia en una interfaz virtual que permita la interacción del sistema con el operario.

# Identificación de Necesidades y Especificaciones

## 

## 2.1 Necesidades por subsistema

## 

## 2.2 Especificaciones por subsistema

## 2.3 Restricciones por subsistema

# Diseño conceptual

## 3.1 Sistematización

## 3.2 Generaciones de conceptos

## 3.3 Selección y evaluación de conceptos

# Diseño de configuración

## 4.1 Análisis por subsistema

## 4.2 Configuración por subsistema

## 4.3 Configuración general

# Diseño de detalle

## 5.1 Subsistema de Interfaz

## 5.2 Subsistema de Instrumentación

## 5.3 Subsistema de Bombas y Energía

## 5.4 Subsistema de ensamble

## 5.5 Sistema general

# Creación de un modelo virtual

## 6.1 Subsistema de Interfaz

## 6.2 Subsistema de Instrumentación

## 6.3 Subsistema de Bombas y Energía

## 6.4 Subsistema de ensamble

## 6.5 Sistema general

# Pruebas y Resultados

# Conclusiones

# Trabajo a futuro

# . Referencias

[1]Secretaría de Protección Civil, "Atlas de Peligros y Riesgos de la Ciudad de México", Ciudad de México, 2014.

[2]Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), "Encuesta INTERCENSAL 2015", México, 2015.

[3]C. Romero, "Lago de Xochimilco, Ciudad de México - Los Lagos más Importantes de México", *GoAppMX - Tu Guía Turística Interactiva*, 2017. [Online]. Disponible: https://www.goapp.mx/que-hacer-lago-de-xochimilco-ciudad-de-mexico-749. [Acceso: 10- Nov- 2020].

[4]J. Legorreta, *Región Líquida*. Ciudad de México: Instituto Mexicano de la Radio (IMER), 2005.

[5]Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), "Reporte de Plantas de Tratamiento Operadas por las Fuentes Fijas (RPTAR)", Ciudad de México, 2016.

[6]El Sol de México, "Reciben canales de Xochimilco descargas de aguas negras", 2017.

[7]L. Bojórquez, *Contaminación Química y Biológica en la Zona Lacustre de Xochimilco*, 1st ed. Ciudad de México, 2017, pp. 23-64.

[8]R. Flores and G. Pérez, "El análisis de Riesgos para el Diseño de Políticas Públicas y Presupuestales. SRA-LA 2018", Ciudad de México, 2020.

# Apéndices

Información retirada de antecedentes

Para realizar la instrumentación y automatización del proyecto de la Facultad de Química, el grupo de la asignatura de Diseño Mecatrónico se organizó en grupos de trabajo para desempeñar tareas específicas de cada subsistema del proyecto. Los subsistemas del proyecto fueron: Interfaz, Bombas y Energía, Instrumentación y Ensamble. Estos subsistemas se encargarían de plantear, evaluar y seleccionar los programas, procesos y materiales a utilizar dentro del proyecto.

Los integrantes de cada subsistema acudieron a una visita a la Facultad de Química con el Dr. Sergio Adrián García González y su ayudante para recabar información y requerimientos del proyecto. En ese momento, el proyecto estaba integrado por un circuito tubular de PVC sostenido por una estructura metálica. Se requería integrar sensores de pH, turbidez y oxígeno disuelto al inicio y fin del circuito para recolectar los datos de manera remota. De igual forma, un panel de control que permitiera el arranque y paro del sistema de alimentación además de una visualización de los datos de los sensores. Así mismo, el sistema debía integrar válvulas automáticas que permitieran modificar automáticamente la recirculación del agua residual tratada y la purga autónoma de la operación.

Con la información recaba, los integrantes de cada subsistema seleccionaron (seleccionamos) una metodología de diseño que permitiera cumplir las necesidades del proyecto y colaborar en manera conjunta con los responsables del proyecto en la Facultad de Química.

Estado del arte sobre contaminación en lago de Xochimilco