



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

División Académica de Ciencias Biológicas



**“DISEÑO DE ZANJAS DE OXIDACIÓN MEDIANTE EL
DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA LA INGENIERÍA
BÁSICA.”**

Trabajo recepcional, en la modalidad de:

Tesis

Para obtener el título en:

Licenciatura de Ingeniería Ambiental

Presenta:

Ildelfonso Raúl Rueda Balcazar

Directores:

M. en C. Ernesto Rodríguez Rodríguez

MIA. Jesús Manuel Carrera Velueta

Villahermosa, Tabasco.

Junio 2019

Diseño De Zanjas De Oxidación Mediante El Desarrollo De Un Software Para La Ingeniería Básica

Por Ildelfonso Raúl Rueda Balcazar

CANTIDAD DE PALABRAS 12025

HORA DE ENTREGA

01-JUL-2025 08:41A. M.

NÚMERO DE
IDENTIFICACIÓN DEL
TRABAJO

117015156

Diseño De Zanjas De Oxidación Mediante El Desarrollo De Un Software Para La Ingeniería Básica

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	pdfcookie.com Internet	137 palabras — 1%
2	hdl.handle.net Internet	88 palabras — 1%
3	dspace.esPOCH.edu.ec Internet	73 palabras — 1%
4	repositorio.utb.edu.co Internet	70 palabras — 1%
5	es.scribd.com Internet	58 palabras — 1%
6	files.conagua.gob.mx Internet	53 palabras — < 1%
7	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Internet	49 palabras — < 1%
8	ciencia.lasalle.edu.co Internet	46 palabras — < 1%
9	riaa.uaem.mx Internet	45 palabras — < 1%

10	repositorioinstitucional.uabc.mx Internet	44 palabras — < 1%
11	docplayer.es Internet	40 palabras — < 1%
12	doi.org Internet	37 palabras — < 1%
13	es.slideshare.net Internet	34 palabras — < 1%
14	repositorio.usfq.edu.ec Internet	33 palabras — < 1%
15	ri.ujat.mx Internet	26 palabras — < 1%
16	www.scribd.com Internet	26 palabras — < 1%
17	agua.org.mx Internet	25 palabras — < 1%
18	pirhua.udep.edu.pe Internet	25 palabras — < 1%
19	repositorio.ufpso.edu.co Internet	21 palabras — < 1%
20	repositorioinstitucional.buap.mx Internet	20 palabras — < 1%
21	dspace.istvidanueva.edu.ec Internet	14 palabras — < 1%

repositorio.uaaan.mx:8080

22	Internet	14 palabras — < 1%
23	www.advantageaustria.org Internet	14 palabras — < 1%
24	musee-infanterie.com Internet	13 palabras — < 1%
25	repositorio.unapiquitos.edu.pe Internet	13 palabras — < 1%
26	www.coursehero.com Internet	13 palabras — < 1%
27	Eduardo Raffo Lecca, Edgar Cruz Ruiz Lizama. "Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno", Industrial Data, 2014 Crossref	12 palabras — < 1%
28	www.economia-montevideo.gob.mx Internet	12 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS

< 12 PALABRAS



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCION**

JUNIO 03 DE 2019

**C. ILDEFONSO RAÚL RUEDA BALCÁZAR
PAS. DE LA LIC. EN ING. AMBIENTAL
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se les autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis denominado: **"DISEÑO DE ZANJAS DE OXIDACIÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA LA INGENIERÍA BÁSICA"**, asesorado por el M. en C. Ernesto Rodríguez Rodríguez y MIA. Jesús Manuel Velueta Carrera, sobre el cual sustentará su Examen Profesional, cuyo jurado está integrado por el Dr. José Roberto Hernández Barajas, Dr. Gaspar López Ocaña, Dra. Carolina Zerqueira Larios, M. en C. Carlos Alberto Torres Balcázar y MIPA. Sergio Ramos Herrera.

**A T E N T A M E N T E
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCION EN LA FE**


**DR. ARTURO GARRIDO MORA
DIRECTOR**

UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.
Archivo.

CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis denominado: **"DISEÑO DE ZANJAS DE OXIDACIÓN MEDIANTE EL DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA LA INGENIERÍA BÁSICA"**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 03 de Junio de 2019

AUTORIZO



ILDEFONSO RAÚL RUEDA BALCÁZAR

Tabla de contenido

Dedicatoria	6
Agradecimientos	7
Introducción	8
Las aguas residuales y su composición.....	9
El efecto de la contaminación del agua en el medio ambiente y la biota	10
Normativa Mexicana en materia de aguas residuales	11
Plantas de tratamiento de aguas residuales	12
Tren de tratamiento de lodos activados/aireación extendida tipo zanja de oxidación	13
Cárcamo	13
Canal de llegada	13
Canal de rejillas	13
Desarenador.....	14
Vertedor sutro.....	15
Zanja de oxidación	15
Sedimentador secundario.....	16
Eras de secado	16
Tanque de cloración.....	16
Antecedentes	17
Justificación	19
Objetivos	21
Objetivo general.....	21
Objetivos particulares	21
Metodología	22
Identificación de los parámetros de un tren de tratamiento	22
Ecuaciones programadas en el software	24
Identificación de los criterios por proceso de un tren de tratamiento.....	43
Desarrollo del programa	46
Validación del programa en el aspecto de diseño ingenieril	47
Validación del programa en el aspecto ergonómico y de usabilidad.....	47

Resultados	48
Diagrama de procesos de la planta de tratamiento.....	48
Diagrama de flujo del programa	49
Fraccionamiento Valle Marino	55
Resultado de la encuesta hecha a posibles usuarios	82
Discusión	86
Conclusión	87
Referencias	88

México.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Dedicatoria

Le dedico este trabajo a mis abuelitos, aunque ya no se encuentren aquí, siempre los siento cerca.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

Agradecimientos

Quiero agradecerles a mis papás por darme la oportunidad de tener una carrera y por los sacrificios que hicieron para que pudiera concluirla.

También quiero agradecer al maestro Velueta y al maestro Ernesto, por confiar en mi trabajo y ayudarme a mejorarlo, al igual que por el apoyo brindado a pesar de que en algunos momentos tuve dudas sobre lo que hacía. Igual quisiera agradecer a la maestra Elizabeth porque sin ella y sin sus consejos y visión, el programa no sería lo que es hoy.

Le agradezco enormemente a doña Normita, al psicólogo Freddy y a la profesora Elda por darme un espacio en tutorías para que pudiera programar, estar, comer y descansar.

Quiero agradecer además a mis amigos, Luis Roberto, Candelabro, Andrés, Diana, Katy, Edy, Michell, Fers, Miriam por ser buenos y malos ejemplos. Al igual que Adair, que aprecio mucho y es de las personas con quien más identificado me siento. A Mary por apoyarme en todo y estar conmigo desde primer semestre.

A mi mejor amigo Jesús por sugerir que aprendiera a programar y por ayudarme cuando no entendía algo. A Isabel Fernanda por enseñarme a aferrarme a proyectos no a personas y hacerme madurar y comprender varias cosas.

A Carli porque la quiero enormemente y a Shakira porque a pesar de todo sigue apoyándome y ayudándome en las buenas y en las malas.

Introducción

Las aguas residuales es uno de los problemas que aquejan a la sociedad, en especial a países en vías de desarrollo, pues no se cuenta con recursos para tratarlas adecuadamente o se hace de manera ineficiente. Las Naciones Unidas estiman que 2500 millones de personas carecen de acceso a saneamiento mejorado y alrededor de mil millones practican la defecación al aire libre (García Sánchez, 2015).

Las autoridades a cargo del tratamiento de las aguas residuales, tienen la obligación de proporcionar servicio de alcantarillado y saneamiento a toda la población, así como de agua potable, no sólo para cuidar el medio ambiente, también para evitar enfermedades hídricas que pueden ser mortales para el ser humano. No sólo se debe velar por el bienestar de la sociedad actual, también se debe pensar en el bienestar de las generaciones futuras asegurando la calidad del agua que pueda satisfacer sus necesidades.

Dentro de poco tiempo el recurso hídrico podría cambiar drásticamente debido a la sobrepoblación. La Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) ha realizado una proyección hasta el año 2030 sobre la disponibilidad del agua en México y muestra que el nivel de agua renovable per cápita nacional, de 3692 metros cúbicos/año, disminuirá a 3250 metros cúbicos/año y esto a causa al crecimiento de la población, la región sureste, en la que se encuentra Tabasco, no se verá tan afectada porque por esta pasa arriba del 60% del agua renovable del país (Atlas del Agua, CONAGUA, 2016).

El 55% de los cuerpos de agua tienen una condición de excelente y el 2.5% están fuertemente contaminados, según el muestreo de DBO. El muestreo de DQO revela 20% están en estado excelente y el 5.8% están fuertemente contaminados. El muestreo de SST señala que 51.6% se encuentra en un estado excelente y el 1.1% están fuertemente contaminados (Atlas del Agua, CONAGUA. 2015).

En el Estado existen construidas 138 plantas de tratamiento de aguas residuales, 80 activas, 57 fuera de operación y 1 dada de baja (Inventario de Plantas de Aguas Residuales, CONAGUA, 2016); a pesar de que la mayoría están reportadas activas, todas tienen cierta deficiencia en su diseño, algunas rebasan el límite poblacional que requieren para una eficiencia buena o están abandonadas y no se les da mantenimiento. No se tiene registro de los softwares que utiliza el CEAS para el diseño de estas plantas.

Los programas de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, como son Aqua Designer y el GPS-X entre otros, son un tipo de herramienta tecnológica que ayuda a formar criterios y a corroborar los diseños de algunas plantas de tratamiento, aunque existe cierta diferencia en los datos que se solicitan y las condiciones de nuestro país.

Existe la necesidad de herramientas igual o más eficaces y efectivas para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales en nuestro idioma y acorde a las características climatológicas de nuestra región, para lograr minimizar el error humano, esa es la finalidad de este trabajo.

Las aguas residuales y su composición

Metcalf & Eddy (1985) definieron la composición de las aguas residuales como:

- *Agua residual doméstica.* Procedente de zonas residenciales o instalaciones comerciales, públicas y similares.
- *Agua industrial.* En este tipo de agua residual predominan los vertidos industriales.
- *Infiltración y vertidos controlados.* Agua que entra de manera directa e indirecta al alcantarillado. La infiltración es el agua que penetra en el sistema a través de juntas defectuosas, fracturas y grietas, o paredes porosas. Las aportaciones incontroladas son las aguas pluviales que descargan por medio

de alcantarillado pluvial, drenes de cimentación, bajantes de edificios y tapas de pozos de registros.

- *Aguas pluviales*: Agua resultantes de la esorrentía.

Romero Rojas (2008) las subdivide estas aguas en las siguientes categorías:

- *Aguas negras*: Aquellas provenientes de inodoros, transportan excrementos humanos y orina, son ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales.
- *Aguas grises*: Las provenientes de las duchas, tinas, lavamanos y lavadoras. Aportan DBO, sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales.

Efectos de la contaminación del agua en el medio ambiente y la biota

Ramalho (1996) menciona algunos de los efectos de la contaminación que afectan más al medio acuático que a letra dicen:

- *Curva de oxígeno disuelto*. Al haber un vertido en un cuerpo de agua, en ese punto el oxígeno disuelto en el agua comienza a descender y la DBO se incrementa, hasta crearse una zona anóxica, al alejarse del punto de vertido el oxígeno disuelto se eleva y la DBO vuelve a descender.
- *Descomposición de materiales orgánicos y compuestos nitrogenados*. Hay un crecimiento acelerado de bacterias gracias al suministro rico en nutrientes de las aguas residuales. Estas consumen mucho oxígeno cuando se alimentan de los compuestos de base proteínica, los hidratos de carbono y las grasas disponibles. Conforme va disminuyendo la cantidad de estos compuestos en las aguas superficiales la concentración de oxígeno disuelto se va recuperando progresivamente hasta alcanzar su valor inicial. El nitrógeno y el fósforo presentes en altas concentraciones en el agua crean condiciones favorables para el desarrollo de plantas verdes, en las aguas de

corrientes libres (ríos y arroyos) se forman recubrimientos aterciopelados sobre las piedras y en las orillas del cauce, cuando el agua no tiene flujo se estimula el crecimiento de algas no deseadas que pueden producir venenos capaces de matar ganado, vida salvaje y fauna piscícola.

- *Depósito de lodos y plantas acuáticas.* Cuando hay un vertido, la turbidez del agua es bastante elevada debido a la presencia de sólidos en suspensión. Cuando se sedimentan, se va volviendo transparente el agua. Poco después de la descarga hay un máximo crecimiento de mohos asociados con bacterias filamentosas en la disposición de lodos.
- *Eutrofización.* Es el proceso natural de envejecimiento de los lagos. La contaminación acelera este envejecimiento y acorta considerablemente la vida del cuerpo receptor.

Normativa Mexicana en materia de aguas residuales

En México existen normas en materia de aguas residuales que rigen los límites máximos permisibles de varios contaminantes, como son el DBO, SST, metales pesados entre otros.

En la NOM 001 SEMARNAT 1996 regula las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

La NOM 002 SEMARNAT 1996 regula las descargas de aguas residuales a los sistemas de aguas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

La NOM 003 SEMARNAT 1997 regula las aguas tratadas que se reúsan en servicios al público.

Conocer estos límites máximos permisibles nos permite entender la calidad del agua que aprovechamos para nuestras necesidades, si alguno de estos límites se supera, el cuerpo de agua se contaminará, si se contamina y nosotros lo usamos para potabilizar y que la población consuma esta agua, podría dañarse severamente la salud de los habitantes.

Plantas de tratamiento de aguas residuales

Las plantas de tratamiento convencionales son una combinación de procesos biológicos y físicos (Abusam, 2001).

Los tratamientos de aguas residuales están clasificados en tres niveles:

- Primario: Remueve la materia orgánica e inorgánica suspendida por procesos químicos (Diehl & Jeppson, 1998). Se encuentran al comienzo del tren de tratamiento y sirven para retener sólidos grandes, gravilla y arena que pueden dañar las bombas y equipo mecánico en los siguientes tratamientos.
- Secundario: Remueve la materia orgánica disuelta por procesos biológicos (Gaudy and Gaudy, 1971). Este nivel es el principal en el tren de tratamiento, se encuentra justo después del tratamiento primario.
- Terciario: En este tratamiento se lleva a cabo la eliminación de nutrientes mediante la adición de productos químicos o reacciones químicas de otra naturaleza (Rojas Suazo, 2012). Este tratamiento puede anexarse o no, después del tratamiento secundario si este no tiene la capacidad de remover nutrientes.

En México, existen en operación 2477 plantas, con una capacidad instalada 177 973.58 l/s y un caudal tratado de 120 902.20 l/s. Con esto se alcanzó una cobertura nacional del 57% (CONAGUA 2015). Los procesos más utilizados en nuestro país, son las lagunas de estabilización y los lodos activados.

Tabasco tiene en operación 88 plantas de tratamiento de aguas residuales con una capacidad de 2 815.9 l/s y tratan un caudal de 1 765.4 l/s.

Observamos que el proceso que tiene más presencia en el estado es el de tanque Imhoff y tratan un caudal de 243 l/s; las lagunas de estabilización es el segundo proceso más usado y trata 680.3 l/s.

En Tabasco existían dos plantas con procesos zanjas de oxidación, una en ciudad industrial en el municipio de Centro (localizada en Google Earth) y otra en estación Chontalpa del municipio de Huimanguillo (Obs. Personal). Estas ya no están registradas en el inventario CONAGUA 2015. Estas dejaron de funcionar por falta de mantenimiento, por mal diseño y por estar mal ubicadas.

Tren de tratamiento de lodos activados/aireación extendida tipo zanja de oxidación

Cárcamo

Los cárcamos conducen el agua residual a la planta de tratamiento, y de ésta al sitio de vertido final. Estos se diseñan para operar a gravedad o a presión. Se divide en dos partes, la primera conduce el efluente de agua residual tratada a través de un canal a cielo abierto, y la segunda conduce el efluente por una tubería, comúnmente de concreto, que sólo se encontrará totalmente inundada durante o inmediatamente después de una precipitación pluvial (César Valdez *at al.* 2003).

Son diseñados para igualar el afluente con el efluente, no necesitan ser diseñados para almacenamiento sino para acomodar las tomas y la geometría que se requiere para los límites de velocidad y limpieza. Los cárcamos de bombeo a velocidad constante deben ser construidos para minimizar el tamaño de manera que impacte positivamente en el costo y facilite la limpieza (CONAGUA, 2015).

Canal de llegada

Al llegar al canal de llegada las aguas residuales son enviadas al pretratamiento, para ello se necesita tener una pendiente para que se traslade por gravedad sin necesidad de usar bombas para transportarla.

Canal de rejillas

El cribado es el proceso donde se reducen los sólidos en suspensión de distintos tamaños. Las aberturas de las rejillas dependen del tipo de objetos que se encuentran en el efluente, y su limpieza se hace bien manual o mecánicamente y

tiene que ser realizada con frecuencia para evitar que exista turbulencia al aumentar la velocidad del flujo, ya que esta reduce la eficiencia al momento de capturar los sólidos. Los productos recogidos se destruyen bien por incineración, o se tratan por procesos de digestión anaerobia, o se dirigen directamente al vertedero (Ramalho, 1996).

Desarenador

El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm (Organización Panamericana de la Salud, 2005). En este proceso se separa del agua las arenas y partículas gruesas que se encuentran suspendidas, esto para evitar que haya daño a las bombas por abrasión, también para que no exista un depósito de esas partículas y así no se sobrecarguen los siguientes procesos.

Si la planta no tuviera un desarenador, la eliminación de la arena se presentaría en el sedimentador primario, cuando no hubiera sedimentador primario en el tren de tratamiento, la remoción ocurriría en tanques de aireación y en un sedimentador secundario. La Comisión Nacional del Agua (2015) describe tres tipos generales de desarenador:

1. De flujo horizontal, ya sea de configuración rectangular o cuadrada, aireado y de tipo vórtice. En el tipo de flujo horizontal, el flujo pasa a través de la cámara en una dirección horizontal y la velocidad es controlada por las dimensiones de la unidad, una buena distribución del afluente y un vertedor de control en el extremo efluente ayudan mucho al funcionamiento de la unidad
2. El desarenador aireado consiste en un tanque de aireación en espiral donde la velocidad de flujo en espiral es inducida y controlada por las dimensiones del tanque y la cantidad de aire suministrado a la unidad
3. El tipo vórtice consiste en un tanque cilíndrico en el que el flujo entra tangencialmente creando un patrón de flujo en vórtice; fuerzas centrífugas y gravitacionales provocan que la arena se separe

Vertedor sutor

Los vertedores sirven para medir caudales y también para derivar el mismo. Son contruidos de un material resistente a la corrosión. Tienen una configuración específica y una dimensión más pequeña que las canaletas Parshall.

Los vertedores tienen la desventaja de permitir acumulación de materia sedimentable. Es una estructura sencilla, barata, fácil de instalar, pero difícil de mantener. Este debe de descargar permitiendo un flujo libre debajo de la lámina de agua que abandona la cresta (Romero Rojas, 2000)

Zanjas de oxidación

Por su bajo costo y su fácil mantenimiento, las zanjas de oxidación fueron usadas para tratar aguas residuales de pequeños pueblos de Holanda en la década de los 50's. En Estados Unidos se instalaron a principios de los 60's las primeras zanjas de oxidación (EPA, 1992).

Las zanjas de oxidación son una modificación al proceso de lodos activados, en el cual hay una aireación extendida de flujo continuo; fue desarrollado por Pasveer en 1953 en Holanda. El primer prototipo en entrar en operación fue en Voorschoten en 1955 (Rojas Suazo, 2012).

Las primeras zanjas tenían una configuración trapezoidal con una inclinación de 45 grados y en el centro tenían una pared insular, como si fuera una pequeña isla. Las modernas tienen paredes verticales, la pared del centro se redujo y cuentan con deflectores, estos dividen el caudal en el momento que choca con ellos y se encuentran en la parte ovalada de la zanja.

Existen 4 tipos de zanjas de oxidación la de tipo orbal, la circular, la de herradura y la de carrusel. Para maximizar su eficiencia hidráulica, a las de tipo orbal se les construye en paralelo al presentarse caudales muy grandes para que no existan turbulencias, así por unidad se logra una aireación mucho más eficaz y versátil.

Sedimentador

La función del sedimentador secundario en este tratamiento es la de sedimentar los biosólidos que pasan a través del zanjón y enviar una parte de estos hacia su disposición y otra parte se redirecciona al zanjón.

Un sedimentador secundario, remueve biomasa viva y muerta además de materia orgánica no digerida y sólida en suspensión; estos se caracterizan por realizar la sedimentación de “suspensión concentrada” donde las partículas sedimentan en grupos a una misma velocidad. Estos proceden a reactores biológicos o procesos de lodos activados. Están diseñados combinando las funciones de un espesador, para producir un flujo constante de lodo de mayor densidad en la parte inferior, un clarificador y de un estanque (Ramalho, 1996).

Eras de secado de lodos

La deshidratación natural de lodos es una de las principales prácticas usadas para reducir el porcentaje de agua que contiene el lodo, esto con el fin de que su disposición final sea facilitada. Los obstáculos para usar este tipo de procesos naturales son el costo del terreno y la necesidad de un área extensa para los lechos, además de la necesidad de una mano de obra extensa para mover las grandes cantidades de lodo (CONAGUA, 2015).

Tanque de desinfección

La desinfección es extraordinariamente importante, desde un punto de vista higiénico. Su objetivo consiste en evitar la transmisión de enfermedades (Asociación española de abastecimientos de aguas y saneamiento, 1984)

CONAGUA (2015) clasifica en dos tipos el proceso de desinfección:

- Por medios químicos: Se utilizan agentes oxidantes fuertes como son el yodo, el bromo, el cloro, la plata y el ozono.
- Por medios físicos: Algunos medios físicos reducen la concentración de microorganismos gracias a que dañan la pared celular de estos. Los más comunes son la temperatura, la radiación (ultravioleta, solar y gamma) y los procesos electrolíticos.

En el tanque de cloración se realiza el proceso de desinfección del agua al usar gas cloro, hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio como agente químico, antes de descargar el agua a los cuerpos receptores (CONAGUA, 2015). Es la última etapa del tratamiento de aguas residuales cuyo objetivo principal es eliminar los organismos patógenos presentes en el agua, que pueden contaminar el manto hídrico, causar enfermedades y poner en peligro la salud de las personas.

Antecedentes

En 2012, Pérez Montiel desarrolló una tesis sobre un software que modela el proceso lodos activados mediante el modelo ASM1, demostrando la importancia y necesidad de desarrollar programas de computadora para el modelaje y el diseño de plantas de tratamiento. El programa no se encuentra en el mercado actualmente.

La tesis “El Sistema de Zanjas de Oxidación Como una Alternativa de Tratamiento Biológico en México” presentada por Rojas Suazo en el 2012 ante la Facultad de Ingeniería de la UNAM, compara las zanjas de oxidación con las lagunas de estabilización y los lodos activados convencionales, estos últimos son los dos procesos más usados en el país.

En la red no hay mucha información sobre aplicaciones de diseño porque son muy pocos y algunos son independientes y no cuentan con el apoyo de grandes empresas desarrolladoras.

Los comerciales son los siguientes:

- SuperPro designer, es un software estadounidense de diseño con una amplia gama de procesos, no solo sirve para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, también para plantas de tratamiento de agua potable, procesamiento de comida, entre otros (Intelligent inc. 23 de diciembre de 2017) con un precio de compra de 15,950 dólares y un precio por licencia anual de 6380 dólares anuales.

- AQUA designer, software alemán especializado en el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales (BitControl, 23 de diciembre de 2017). Tiene cuatro versiones: la básica con un costo de 2200 euros, la pro para un usuario con costo de 3400 euros, la versión estadounidense para un usuario con costo de 4200 euros y la versión NET de un usuario de 4500 euros.
- GPS-X, especializado también en el diseño de plantas de tratamiento, pero también verifica la capacidad de la planta (Hydromantis environmental software solutions. Inc, 23 de diciembre de 2017). Cuenta con dos versiones, la estándar con un costo de 3200 dólares y la pro con un costo de 3800 dólares.

Los independientes más completos son:

- DEPECO 2.1, este programa fue desarrollado por un profesor de programación aplicada de España, es muy completo y muestra imágenes de cada uno de los procesos bien detallados (IngenieríaQuímica.org, 23 de diciembre de 2017).

En el Estado no se tiene registro del uso de programas de diseños o simulación para la construcción de plantas de tratamiento. Estos podrían ayudar en la comprobación de la eficiencia en el diseño y en los procesos de las plantas, a pesar de que solicitan otro tipo de datos con respecto a las condiciones climatológicas.

Justificación

La zanja de oxidación tiene la capacidad de lograr oxidación del carbono, la nitrificación y desnitrificación en una sola masa de estiércol líquido, esto debido a la presencia de zonas aerobias, anóxicas y anaerobias. No solo pueden lograr la remoción de nitrógeno y carbono, también llega a remover fósforo (WEF, 1998). La remoción de nitratos y fosfatos de las zanjas es de suma importancia, porque estos nutrientes bioestimulan el crecimiento de algas y estas producen malos olores cuando se comienzan a descomponer, esto reduce la concentración de oxígeno disuelto y contribuyen a la eutrofización de los cuerpos de aguas receptores.

Otra ventaja con respecto a otros sistemas es que la remoción de materia orgánica y nitrógeno ocurre repetidamente. También producen menos exceso de lodos que los tratamientos de lodos activados convencionales porque trabajan con una aireación extendida, esto reduce el área y el costo entre mano de obra y de construcción de los lechos de secado.

A continuación, se expondrá las eficiencias de remoción de SST y DBO de las zanjas de oxidación frente a los dos procesos más utilizados en el Estado para el tratamiento de aguas residuales que son las lagunas de estabilización y el tanque Imhoff.

- Lagunas de estabilización tienen una eficiencia de remoción de DBO de hasta 95% pero su concentración de SST es de 150 mg/L (Rojas Suazo, 2012).
- Los Tanques Imhoff remueven hasta un 35% de DBO y hasta 50% de SST (Aguay Rosillo, 2016).
- Las zanjas de oxidación pueden remover hasta un 96% de DBO y un 94% de SST (Rojas Suazo, 2012).

De las tres tecnologías la más eficiente en remoción son las zanjas de oxidación superando por mucho al tanque Imhoff, el cual es el tratamiento más usado en Tabasco.

Para apoyar el diseño y la construcción de plantas de tratamiento con la tecnología mencionada, se desarrollará un software de aplicación que a partir de parámetros y de la población, nos permita generar las dimensiones óptimas de los diferentes procesos buscando minimizar costos y maximizar beneficios.

La ventaja de desarrollar un software de diseño es que ayudaría a los técnicos en tratamiento de aguas, ingenieros civiles y ambientales a obtener resultados en un tiempo reducido. A pesar de que existen programas de diseño extranjeros; las condiciones climatológicas, altura sobre el nivel del mar, el costo de terreno, las poblaciones proyectadas, los caudales manejados, son distintos a los encontrados en el Estado. Se desarrolló uno que toma en cuenta algunos de estos factores y que busca en futuras versiones poder cubrir todos.

Los alcances del software son que diseñará un tren de tratamiento como el planteado anteriormente, no se abarcarán otras tecnologías por falta de tiempo para programar y recopilar información necesaria para su diseño; sólo realiza ingeniería básica, no se contemplan la ingeniería de detalle. En un futuro proyecto se espera anexar otras mejoras al software para hacerlo más completo y mejorar su capacidad de diseño.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar plantas de tratamiento de zanjas de oxidación mediante el desarrollo de un software para la ingeniería básica.

Objetivos particulares

- Identificar los criterios, parámetros y ecuaciones para el diseño básico del tren de tratamiento con tecnología zanjas de oxidación.
- Desarrollar un software a partir de los parámetros y criterios con características ergonómicas y de usabilidad.
- Validar la aplicación en el aspecto ingenieril al comparar los resultados del software con las dimensiones de una planta del municipio de Centro.
- Validar la aplicación en el aspecto ergonómico y de usabilidad, mostrándola a posibles usuarios.

Metodología

Se realizó una investigación para obtener las ecuaciones y coeficientes que se codificaron dentro del programa necesarios para el diseño de un tren de tratamiento con el proceso de zanja de oxidación.

Identificación de los parámetros de un tren de tratamiento

Tabla 1. Parámetros que se toman en cuenta en el software.

Parámetro	Consideración
Población	Se solicita al usuario la población proyectada con anterioridad.
Dotación de agua potable	Para poblaciones menores a 2500 habitantes es de 180 L/hab*día. Para poblaciones menores a 20000 habitantes es de 240 L/hab*día. Para poblaciones mayores a 20000 habitantes es de 350 L/hab*día.
Factor de aportación	El rango de valores de este factor es de 0.85 – 0.7.
Coeficiente de amortiguamiento	Este coeficiente es igual 1.5.
Sólidos totales en agua residual cruda	La composición usual de agua residual doméstica muestra un rango de valores entre 350 – 1200 mg/L.
Demanda Bioquímica	La composición usual de agua residual doméstica tiene un rango de valores entre 110 – 400 mg/L.

Coeficiente de Manning	Es el coeficiente de rugosidad usado en la red de aguas residuales con un valor de 0.013
Coeficiente de sedimentación	Este es el usado para la sedimentación simple con un valor de 0.004
Factor de producción de arena seca	Por cada 1000 m ³ de agua, tiene un valor de 0.06 m ³ de arena. Por cada 1000 m ³ de agua con tormenta pluvial tiene un valor de 2.5 m ³ de arena.
Factor de eliminación de sólidos en suspensión	Con un valor de 0.4
Temperatura	La temperatura de diseño para que la zanja de oxidación pueda funcionar correctamente tiene que ser mayor a 15°C.
Presión barométrica	La presión que existe en el lugar que se desea diseñar el tren de tratamiento. Solicitada en mmHg
Concentración de DBO	Concentración de DBO en el influente.
Calidad del efluente según la Normativa Mexicana	Esta depende del cuerpo de agua receptor
Factor de carga para DBO	Con un rango de valor de 44 – 54 g / L * día
Producción de lodo seco	La producción de lodos seco per cápita. Tiene un valor de 0.1 L / hab * día
Edad de lodos	El tiempo necesario para que se sequen los lodos por lo general es de 30 días

Dosis de la tableta cloro	La dosis mínima de cloro es de 2 gr/m ³
El contenido de fracción de hipoclorito	La fracción de cloro en el agua a tratar tiene que ser de 65%
El factor de volumen adicional del tanque de cloración	Se le agrega al volumen un factor de 1.5

Ecuaciones programadas en el software

Ecuaciones para la obtención de caudales

Los caudales de diseño son necesarios para saber la cantidad de agua que entrará a la planta de tratamiento y con ello se puede dimensionar adecuadamente los procesos que la conforman.

El caudal promedio es importante porque de este derivan los otros caudales de diseño y se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{prom}} = \frac{(Pob * Dot * Fa)}{86400 \text{ segundos}}$$

Donde:

Q_{prom}: Caudal promedio (L/segundo)

Pob: Población proyectada

Dot: Dotación de agua potable (L/(habitante*día))

Fa: Factor de aportación de agua residual.

El caudal mínimo se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{min}} = Q_{\text{prom}}/2$$

Dónde:

Q_{min}: Caudal mínimo (L/segundo)

Q_{prom}: Caudal promedio (L/segundo)

Para obtener caudal máximo, su ecuación es la siguiente:

$$Q_{\max} = Q_{\text{prom}}/\text{Harmon}$$

Donde:

Q_{\max} : Caudal máximo (L/segundo)

Q_{prom} : Caudal promedio (L/segundo)

Harmon: Número de Harmon

Para obtener el número de Harmon usado en la ecuación anterior se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Harmon} = 1 + (14/(4 + (\sqrt{(Pob/1000)})))$$

Donde:

Harmon: Número de Harmon

Pob: Población proyectada (habitantes)

El caudal máximo se obtiene con la ecuación siguiente:

$$Q_{\text{maxext}} = Q_{\max} * \text{Coeficiente de amortiguamiento}^1$$

Donde:

Q_{maxext} : Caudal máximo extraordinario (L/segundo)

Q_{\max} : Caudal máximo (L/segundo)

¹Mencionado en la tabla número 1.

Ecuaciones para el diseño del cárcamo

Para obtener el volumen del cárcamo se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = T_f / ((1/Q_{\max}) + (1/(Q_{\max} - Q_{\min})))$$

Donde:

V: Volumen del cárcamo (m³)

T_f: Tiempo Funcional (minutos)

Q_{\max} : Caudal máximo (m³/segundo)

Q_{\min} : Caudal mínimo (m³/segundo)

La ecuación para obtener el área superficial del cárcamo se muestra a continuación:

$$As = V/H$$

Donde:

As: Área superficial (m²)

V: Volumen (m³)

H: Altura (m)

El radio del cárcamo se obtiene de la ecuación siguiente:

$$r = \sqrt{(As/\pi)}$$

Donde:

As: Área superficial(m²)

[Ecuaciones para el diseño del canal de llegada](#)

El área superficial del canal de llegada se obtiene de la siguiente ecuación:

$$As = Q_{maxext}/V_e$$

Donde:

As: Área superficial(m²)

Q_{maxext}: Caudal máximo extraordinario(m³/segundo)

V_e: Velocidad de agua remitente(m/segundo)

La altura efectiva se obtiene de la ecuación que se muestra a continuación:

$$H_e = B/As$$

Donde:

H_e: Altura efectiva (m)

B: Ancho de la tubería (m)

As: Área superficial (m²)

El largo de canal de muestra en la siguiente ecuación:

$$L = B * 2$$

Donde:

L: Largo del canal de llegada(m)

B: Ancho de tubería(m)

La pendiente del canal de llegada se obtiene de la siguiente ecuación:

$$S = ((Ve * n) / Rh^{\frac{2}{3}})^2$$

Donde:

Ve: Velocidad de agua remitente (m/segundo)

n: Coeficiente de Manning

Rh: Radio hidráulico (m)

El radio hidráulico presentado en la ecuación anterior se obtiene de esta ecuación:

$$Rh = As / ((He * 2) + B)$$

Donde:

Rh: Radio hidráulico(m)

As: Área superficial(m²)

He: Altura efectiva(m)

B: Ancho de la tubería(m)

Ecuaciones para el diseño del canal de rejillas

El área superficial del canal de rejillas es obtenida mediante la siguiente ecuación:

$$As = Q_{maxext} / Va$$

Donde:

As: Área superficial (m²)

Q_{maxext}: Caudal máximo extraordinario (m³/segundo)

Va: Velocidad de aproximación (m/segundo)

La velocidad de paso cuando las rejillas están limpias se obtiene de la ecuación mostrada a continuación:

$$V_{prl} = V_{prs} * (0.7)$$

Donde:

V_{prl} : Velocidad de paso a rejilla limpia (m/segundo)

V_{prs} : Velocidad de paso a rejilla sucia (m/segundo)

La velocidad de paso cuando las rejillas están limpias y el caudal es el máximo extraordinario se obtiene de la siguiente ecuación:

$$V_{prlQ_{maxext}} = V_{prl} * (Q_{maxext}/Q_{prom})$$

Donde:

$V_{prlQ_{maxext}}$: Velocidad de paso a rejilla limpia y caudal máximo extraordinario (m/segundo)

V_{prl} : Velocidad de paso a rejilla limpia (m/segundo)

Q_{maxext} : Caudal máximo extraordinario (m³/segundo)

Q_{prom} : Caudal promedio (m³/segundo)

La velocidad de paso cuando la rejilla está colmatada y el caudal es el máximo extraordinario se obtiene con la siguiente fórmula:

$$V_{prcolQ_{maxex}} = V_{prs} * (Q_{maxext}/Q_{prom})$$

Donde:

V_{prs} : Velocidad de paso a rejilla sucia (m/segundo)

Q_{maxext} : Caudal máximo extraordinario (m³/segundo)

Q_{prom} : Caudal promedio (m³/segundo)

Con la siguiente ecuación se obtiene el ancho del canal de rejillas:

$$Anch = (\sqrt{As}) * 1.156$$

Donde:

Anch: Ancho del canal de rejillas (m)

As: Área superficial (m²)

La profundidad del canal obtiene de la siguiente ecuación:

$$H = (As/Anch) * 1.156$$

Donde:

H: Profundidad del canal

Anch: Ancho del canal de rejillas (m)

As: Área superficial (m²)

El número de barras se obtiene de la ecuación mostrada a continuación:

$$Nb = (Anch + e)/(e + d)$$

Donde:

Nb: Número de barras

Anch: Ancho del canal de rejillas (m)

e: Distancia entre las barras (cm)

d: Diámetro de las barras (cm)

La longitud del canal de rejillas se obtiene con la ecuación siguiente:

$$L = Anch / \sin \theta$$

Donde:

L: Largo del canal de rejillas (m)

Anch: Ancho del canal de rejillas (m)

Sin θ : Seno del ángulo

El ancho de las rejillas se obtiene de la ecuación mostrada a continuación:

$$Anch_{rejillas} = (Nb * d) + (Nes * e)$$

Donde:

Anch_{rejillas}: Ancho de las rejillas (m)

Nb: Número de barras

d: Diámetro de las barras (cm)

Nes: Número de espacio entre las barras

e: Distancia entre las barras (cm)

La ecuación siguiente nos da como resultado la eficiencia de las rejillas:

$$H_f = \left(1.79 * \left((e/d)^{3/4} * (0.36/(2 * g)) \right) \right) * \sin \theta$$

Donde:

e: Distancia entre las barras (cm)

d: Diámetro de las barras (cm)

g: Constante de gravitación universal (m)

Sin θ : Seno del ángulo

Ecuaciones para el diseño del desarenador

Para calcular la velocidad de sedimentación se necesita utilizar la siguiente ecuación:

$$V_s = (1/18) * (((\rho - 1) * g * (d^2))/\mu)$$

Donde:

Vs: Velocidad de sedimentación (cm/s)

P: Peso específico

g: Constante de gravitación universal (cm²/s)

μ : Viscosidad cinemática del fluido (cm²/s)

El factor de carga se obtiene de la ecuación siguiente:

$$q = (V_s * 86400)/100$$

Donde:

Vs: Velocidad de sedimentación

Con la ecuación mostrada a continuación se obtiene el área superficial del desarenador:

$$As = Q_{maxext}/q$$

Donde:

As: Área superficial (m²)

Q_{maxext}: Caudal máximo extraordinario (m³/segundo)

El ancho del canal se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Anch = \sqrt{As/3}$$

Donde:

Anch: Ancho del canal(m)

As: Área superficial(m²)

El largo del canal se obtiene de la ecuación mostrada a continuación:

$$L = Anch * 3$$

Donde:

L: Largo del canal (m)

Anch: Ancho del canal (m)

Con la siguiente ecuación se obtiene la profundidad del canal:

$$H = \frac{(L * Anch)}{L}$$

Donde:

H: Profundidad (m)

L: Largo del canal (m)

Anch: Ancho del canal (m)

El volumen del canal se obtiene de la siguiente ecuación:

$$V = L * Anc * L$$

Donde:

V: Volumen (m³)

Anch: Ancho del canal (m)

L: Largo del canal (m)

El área transversal se obtiene con la ecuación mostrada a continuación:

$$A_{\text{trs}} = \text{Anch} * H$$

Donde:

Atrs: Área transversal (m²)

Anch: Ancho del canal (m)

H: Profundidad (m)

Con la ecuación siguiente se obtiene el tiempo de retención hidráulico:

$$TRH = \frac{V}{Q_{\text{maxext}}}$$

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulico (d)

V: Volumen (m³)

Qmaxext: Caudal máximo extraordinario (m³/día)

La producción total de arena seca se obtiene con la ecuación mostrada a continuación:

$$P_{\text{arena}} = ((Q_{\text{prom}} * FPAS)/1000) * Proplim$$

Donde:

Parena: Producción de arena seca (m³)

Qprom: Caudal promedio (m³/día)

FPAS: Factor de producción de arena seca por cada mil m³ de agua (m³)

Proplim: Propuesta de limpieza (días)

Con la ecuación siguiente se obtiene la profundidad de almacenamiento para 3 días:

$$H_3 = P_{\text{arena}} / (\text{Anch} * L)$$

Donde:

H₃: Profundidad de almacenamiento para 3 días (m)

Parena: Producción de arena seca (m³)

Anch: Ancho del canal (m)

L: Largo del canal (m)

La producción total de arena con tormenta se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\text{Paretor} = (\text{Qprom} * \text{FPASTP})/1000$$

Donde:

Paretor: Producción total de arena con tormenta (m³)

Qprom: Caudal promedio (m³/día)

FPASTP: Factor de producción de arena seca por cada mil m³ de agua con tormenta pluvial (m³)

La ecuación siguiente sirve para encontrar la velocidad de arrastre:

$$V_c = \sqrt{\frac{8 * k * (p - 1) * g * d}{0.003}}$$

Donde:

Vc: Velocidad de arrastre (cm/s)

K: Coeficiente de sedimentación simple

P: Pesos específico

g: Constante de gravitación universal (cm²/s)

d: Diámetro de la partícula de arena (cm)

La velocidad de flujo horizontal se obtiene de la siguiente ecuación:

$$V_h = \text{Qmaxext}/(\text{H} * \text{Anc})$$

Donde:

Vh: Velocidad de arrastre (cm/s)

Qmaxext: Caudal máximo extraordinario (m³/día)

H: Profundidad (m)

Anch: Ancho del canal (m)

Con la siguiente ecuación se obtiene la concentración esperada de SST:

$$CSST_{desa} = C_{ss} - (C_{ss} * FESST)$$

Donde:

CSST_{desa}: Concentración esperada de SST en el desarenador (mg/L)

C_{ss}: Concentración de sólidos suspendidos (mg/L)

FESST: Factor de eliminación de sólidos en suspensión

Ecuaciones para el diseño del vertedor sutro

Para obtener la altura de vertedor sutro se utiliza la siguiente ecuación:

$$H = \frac{h}{N_{sec}}$$

Donde:

H: Altura del vertedor (cm)

h: Carga del vertedor (cm)

N_{sec}: Número de secciones del vertedor

El ancho del vertedor se obtiene con la ecuación mostrada a continuación:

$$Anch = \left(\frac{b}{\pi}\right) * \tan^{-1}\left(\left(\frac{H}{a}\right)^{\frac{1}{2}}\right)$$

Donde:

Anch: Ancho (cm)

b: Ancho de la mitad de la base (cm)

H: Altura (cm)

a: Altura mínima (cm)

Para obtener el vertedor proporcional se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_{\text{pro}} = \text{Anch} * 2$$

Donde:

V_{pro} : Vertedor proporcional (cm)

Anch: Ancho (cm)

El caudal promedio se obtiene de la ecuación siguiente:

$$Q_{\text{prom}} = 2.08 * \left(\left(\frac{H}{100} \right) + (2/3) \right)$$

Donde:

Q_{prom} : Caudal promedio

H: Altura

El caudal de descarga cuando el tirante es mayor a la altura de la base se obtiene de la ecuación siguiente:

$$Q = b * \left(\sqrt{(2 * a) * \left(h + \left(\frac{2}{3} \right) a \right)} \right)$$

Donde:

Q: El caudal de descarga cuando el tirante es mayor a la altura de la base (m^3/s)

b: Ancho de la mitad de la base (cm)

a: Altura mínima (cm)

Con la siguiente ecuación se obtiene el caudal de descarga cuando el tirante es menor a la altura de la base:

$$Q_1 = \left(\frac{2}{3} \right) * b * \left(\sqrt{(2 * g) * \left((h + a)^{3/2} \right) - (h)^{2/3}} \right)$$

Donde:

Q_1 : Caudal de descarga cuando el tirante es menor a la altura de la base (m^3/s)

b: Ancho de la mitad de la base (cm)

g: Constante de gravitación universal (m^2/s)

h: Carga del vertedor (cm)

a: Altura mínima (cm)

Ecuaciones para el diseño de las zanjas de oxidación

Para obtener el volumen total de la zanja de oxidación se utiliza la siguiente ecuación:

$$V_t = (Q_{prom} * S_o) / (AM * X_e)$$

Donde:

V_t: Volumen total (m³)

Q_{prom}: Caudal promedio (m³/día)

S_o: Concentración de DBO en el influente (mg/L)

AM: Relación de alimentación/microorganismos (KgDBO/(KgXe*día))

X_e: Sólidos suspendidos en el licor de mezcla (mg/L)

El tiempo de retención hidráulico se obtiene de la siguiente ecuación:

$$TRH = \frac{V_t}{Q_{prom}}$$

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulico (días)

V_t: Volumen total (m³)

Q_{prom}: Caudal promedio (m³/día)

Para obtener la carga orgánica aplicada se utiliza la siguiente ecuación:

$$COA = F_c * P * 0.0001$$

Donde:

COA: Carga orgánica aplicada (KgDBO/día)

P: Población (habitantes)

El oxígeno requerido en la zanja se obtiene de la siguiente ecuación:

$$OR = COA * 2$$

Donde:

OR: Oxígeno requerido (KgO²/día)

COA: Carga orgánica aplicada (KgDBO/día)

La concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua potable se obtiene con la ecuación mostrada a continuación:

$$C_s = (C_{sl} * PA) / 760$$

Donde:

C_s: Concentración de saturación (mg/L)

C_{sl}: Concentración de saturación de agua potable (mg/L)

PA: Presión atmosférica (mmHg)

Para obtener la capacidad real de la transferencia de oxígeno del cepillo o rotor se utiliza la siguiente ecuación:

$$N = (N_o * \alpha * 1.024)^{((T-20) * \beta * (C_{sp} - C_s) / C_{sd})}$$

Donde:

N: Capacidad real de la transferencia de oxígeno del cepillo o rotor (KgO²/m³*h)

N_o: Tasa nominal de transferencia de oxígeno (KgO²/m³*h)

α: Relación promedio de transferencia de oxígeno en agua residual a la tasa de transferencia de agua potable

T: Temperatura (°C)

β: Relación promedio de transferencia de oxígeno en agua residual y la concentración de saturación en agua potable

C_{sp}: Concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua potable a la temperatura y altitud del lugar (mg/L)

C_s: Concentración de saturación (mg/L)

C_{sd}: Concentración de saturación de oxígeno disuelto en agua destilada (mg/L)

La longitud de los cepillos o rotores se obtiene de la siguiente ecuación:

$$L_c = OR / (24 * N)$$

Donde:

L_c: Longitud de los cepillos o rotores (m)

OR: Oxígeno requerido (KgO²/día)

N: Capacidad real de la transferencia de oxígeno del cepillo o rotor (KgO²/m³*h)

Para obtener la carga orgánica volumétrica se utiliza la siguiente ecuación:

$$COV = COA / Q_{prom}$$

Donde:

COV: Carga orgánica volumétrica (kgDBO/m³)

COA: Carga orgánica aplicada (KgDBO/día)

Q_{prom}: Caudal promedio (m³/día)

El volumen de la sección curva se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_c = \pi * (Anch^2) * H$$

Donde:

V_c: Volumen de la sección curva (m³)

Anch: Ancho del canal (m)

H: Altura (m)

El volumen de la sección recta se obtiene de la ecuación siguiente:

$$V_r = V_t - V_c$$

Donde:

V_r: Volumen de la sección recta (m³)

V_t: Volumen total (m³)

V_c: Volumen de la sección curva (m³)

Para obtener el largo de la sección recta se utiliza la ecuación mostrada a continuación:

$$L_{sr} = V_r / \left(\left(\frac{Anch}{2} \right) * (H * 2) \right)$$

Donde:

L_{sr}: Largo de la sección recta (m)

V_r: Volumen de la sección recta (m³)

Anch: Ancho (m)

H: Altura (m)

La ecuación siguiente se utiliza para obtener el área superficial:

$$As = Lsr * (Anch * 2)$$

Donde:

As: Área superficial (m²)

Lsr: Largo de la sección recta (m)

Anch: Ancho (m)

La producción de lodos se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Px = 0.5 * (So - S) * Qprom * 0.001$$

Donde:

Px: Producción de lodos (KgSS/día)

So: Concentración de SS en el influente (mg/L)

S: Calidad del efluente según la norma (mg/L)

Qprom: Caudal promedio (m³)

La edad de lodos se obtiene mediante la siguiente formula:

$$ec = \frac{Xe * Vt * 0.001}{Px}$$

Donde:

ec: Edad de lodos (días)

Xe: Sólidos suspendidos en el licor de mezcla (mg/L)

Vt: Volumen total (m³)

Px: Producción de lodos (KgSS/día)

Ecuaciones para el diseño del sedimentador secundario

Para obtener el área superficial del sedimentador secundario se utiliza la siguiente ecuación:

$$As = Qprom / Csd$$

Donde:

As: Área superficial (m²)

Qprom: Caudal promedio (m³/día)

Csd: Carga superficial sedimentable (m³/m²*día)

El diámetro del sedimentador se obtiene con la ecuación mostrada a continuación:

$$D = \sqrt{(4 * As)/\pi}$$

Donde:

D: Diámetro (m)

As: Área superficial (m²)

El volumen se obtiene de la formula mostrada a continuación:

$$V = (3 * Q_{prom} * 2)/24$$

Donde:

V: Volumen (m³)

Q_{prom}: Caudal promedio (m³/día)

El tiempo de retención hidráulico se obtiene con la siguiente ecuación:

$$TRH = V/Q_{prom}$$

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulico (días)

V: Volumen (m³)

Q_{prom}: Caudal promedio (m³/día)

Para obtener la profundidad del sedimentador se utiliza la siguiente ecuación:

$$H = V/As$$

Donde:

H: Profundidad (m)

V: Volumen (m³)

As: Área superficial (m²)

Ecuaciones para el diseño de las eras de secado

El volumen de las eras de secado se obtiene de la siguiente ecuación:

$$V = P * Pls * TRH$$

Donde:

V: Volumen (m³)

P: Población (habitantes)

Pls: Producción de lodo seco (L/hab*día)

TRH: Tiempo de retención hidráulico (días)

El área superficial se obtiene con la ecuación mostrada a continuación:

$$As = \frac{V}{Ecp}$$

Donde:

As: Área superficial (m²)

V: Volumen (m³)

Ecp: Distribución por capas (cm)

El largo de las eras se obtiene de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{As}{Anch}$$

Donde:

L: Largo (m)

As: Área superficial (m²)

Anc: Ancho (m)

Ecuaciones para el diseño del tanque de cloración

Para obtener el volumen del tanque de cloración de utiliza la siguiente ecuación:

$$V = Qprom * TRH * Fva$$

Donde:

V: Volumen (m³)

Qprom: Caudal promedio (m³/día)

TRH: Tiempo de retención hidráulico (minutos)

Fva: Factor de volumen adicional

El área superficial se obtiene de la ecuación mostrada a continuación:

$$As = V/H$$

Donde:

As: Área superficial (m²)

V: Volumen (m³)

H: Profundidad (m)

El ancho del tanque se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Anch = \sqrt{As/2}$$

Donde:

Anch: Ancho (m)

As: Área superficial (m²)

El largo del canal se obtiene de la ecuación mostrada a continuación:

$$L = Anch * 2$$

Donde:

L: Largo (m)

Anch: Ancho (m)

Para obtener el largo de la intersección se utiliza la siguiente ecuación:

$$Ls = L * 0.25$$

Donde:

Ls: Largo de la intersección (m)

L: Largo (m)

La dosis de hipoclorito se obtiene con la siguiente ecuación:

$$w = (Qprom * Dcl)/Clact$$

Donde:

w: Dosis de hipoclorito (g hipoclorito/día)

Qprom: Caudal promedio (m³/día)

Dcl: Dosis de la tableta activa de hipoclorito (g/m³)

Clact: Contenido en fracción de cloro activo (%)

Identificación de criterios de diseño por proceso en el tren de tratamiento

Los criterios mostrados por procesos (tabla 2) que fueron usados como restricciones en el programa, se consideró utilizar algunos de ellos por defecto sin mostrarlos al usuario para que no los pueda modificar; otros criterios si se muestran en las pantallas y se pueden modificar, según las necesidades del usuario.

Tabla 2. Criterios por procesos que fueron usados como restricciones en el programa

Proceso	Criterio	Valores
Caudal	Coeficiente de corrección	Con un valor típico de 1.5
Cárcamo	Tiempo funcional	Rango de 10 a 60 minutos
	Altura	Rango de 5 a 12 m
Canal de llegada	Ancho de tubería	Con un valor máximo de 1.6 m
	Velocidad del agua remitente	Con un valor 1.4 m/s
Canal de rejillas	Velocidad del agua con rejillas sucias	Con un valor de 0.9 m/s
	Velocidad de aproximación	Con un rango de 0.3 a 0.6 m/s
	Inclinación de las rejillas	Con un valor de 45° para las rejas manuales y con un valor de 30° para rejas mecánicas.
	Aceleración de la gravedad	Con un valor de 9.807 m/s ²

	Tipo de rejillas	Para rejillas finas el grosor 0.015 mm y la distancia es de 0.025 mm. Para rejillas medias el grosor es de 0.035 mm y la distancia de 0.020 mm. Para rejillas grandes el grosor es de 0.05 mm y la distancia es de 0.025mm.
Desarenador	Propuesta de limpieza	Con un valor establecido de 3 días.
	Peso específico de la partícula de arena	2.65
	Densidad del agua a 20° C	0.998 g/cm ²
	Diámetro de la partícula de arena	0.02 cm
	Viscosidad del fluido	0.01011 cm ² /s
	Ajuste del largo canal	Rango de 3 a 5.
Vertedor sutro	Altura mínima de la base	Valor de 10 cm.
	Número de secciones	Con un valor mínimo de 8
Zanjas de oxidación	Factor de carga contaminante de DBO	Con un rango de valor de 40 a 54 g/hab*día
	Concentración promedio de oxígeno disuelto en el zanjón	Con un valor promedio de 1.5

	Profundidad	Con un valor mínimo de 3 m
	Ancho	El valor mínimo es de 10 m
	Sólidos en suspensión en el licor de mezcla	Con un valor típico de 3000 mg / L
	Relación de alimentación / Microorganismos	Con un valor típico de 0.1 KgDBO / KgSSLM * día
	Concentración de oxígeno disuelto	Para agua potable al nivel del mar es de: 8.36 mg/ L Para agua destilada a 20°C y al nivel del mar es de: 9.17 mg / L
	Tasa nominal de transferencia de oxígeno	Con un valor de 6 kg oxígeno/ m * hora
	Relación promedio de transferencia de oxígeno en agua residual a la tasa de transferencia de agua potable	Con un valor de 0.82
	Relación promedio de transferencia de oxígeno en agua residual y la concentración de saturación en agua potable	Con un valor de 0.9
Digestor anaerobio	Diámetro	Con un rango de valores de 6 a 38 m
	Profundidad	Con un rango de valores de 6 a 12 m

	Temperatura	Rango de valor de 35°C a 39°C
	Carga de sólidos volátiles	Con un rango de valor de 1.6 a 3.2 KgSV/m ³ *día
	Tiempo de retención hidráulico	Con valores de 15, 20 y 30 días típicamente
	Tiempo de retención de sólidos	Con un rango de 12 a 20 días.
Eras de secado	Distribución de capas	Con un valor de 0.20 a 0.46 m
	Ancho de las eras	El valor mínimo es de 7.5 m
	Número de eras	El rango es de 1 a 10 eras
Tanque de cloración	Profundidad	Con un valor típico de 1.75 m
	Tiempo de retención hidráulico	Con un valor no mayor a 20 minutos.

Desarrollo del programa

Se elaboraron los diagramas de flujo de cada proceso de un tren de tratamiento con zanjas de oxidación, se desarrollaron los pseudocódigos de cada proceso y finalmente se codificaron en Python. En una primera valoración, los resultados se presentaron en la consola de comando de Windows, donde se probó, las ecuaciones y los datos de entrada.

Las diferentes ventanas que conforma la interfaz se desarrollaron en una biblioteca de Python llamada Tkinter, esta contiene funciones que permiten codificar los objetos de control que aparecen en las ventanas de dialogo del software, para el ingreso y generación de resultados. Primero se diseñaron las ventanas, una vez dentro de esta se decidió el número de botones y la cantidad de datos que se le

pedirían al usuario por proceso, también se decidió presentar los resultados en una ventana distinta.

El primer proceso que se codificó fue el de caudales, teniendo ya la interfaz gráfica codificada se usaron los códigos de las fórmulas que se mencionaron con anterioridad, y se insertaron dentro del código fuente. Este mismo paso se realizó para todos los demás procesos, por eso el paradigma usado fue el modular, era el más adecuado para desarrollar con satisfacción el programa.

Teniendo la interfaz gráfica lista se creó una base de datos con Sqlite que es un sistema de gestión para estas. Python tiene un soporte para este, por lo tanto, se pueden hacer tablas de manera muy sencilla, junto con este se instala un browser para poder ver los datos registrados y guardados

Validación del programa en el aspecto de diseño ingenieril

Se validó el programa en el aspecto del diseño ingenieril, al comparar una planta de tratamiento con proceso de zanja de oxidación que se encuentran en el municipio de Centro. La planta del fraccionamiento Valle marino, ubicado detrás de Plaza las Américas, es una zanja de oxidación tipo orbal, la cual no aparece en el último inventario de CONAGUA, tampoco se tiene datos de caracterización del agua residual que ingresa a esta, sólo se conoce la población servida que es alrededor de 3600 habitantes. Desde el google Earth se pudieron tomar el diámetro y el área superficial de esta, siendo el diámetro de 14 m y el área superficial de 164 m².

Validación del programa en el aspecto ergonómico y de usabilidad

Se presentó el programa a posibles usuarios, algunos maestros y tesisistas, así mismo a un grupo de 20 alumnos de 8vo semestre, a estos últimos se les solicitó que contestaran una encuesta en línea para retroalimentación del programa.

Resultados

Diagrama de proceso del tren de tratamiento

Se hizo un diagrama por procesos del tren de tratamiento que se diseña el programa. Este lleva la misma secuencia que lleva el programa al diseñar, desde el proceso numero 1 hasta el 9 sin omitir ninguno.

Figura 1. Diagrama de procesos.

1. Cárcamo
2. Canal de llegada
3. Rejillas
4. Desarenador
5. Vertedor sutro
6. Zanja de oxidación
7. Sedimentador
8. Eras de secado
9. Tanque de cloración

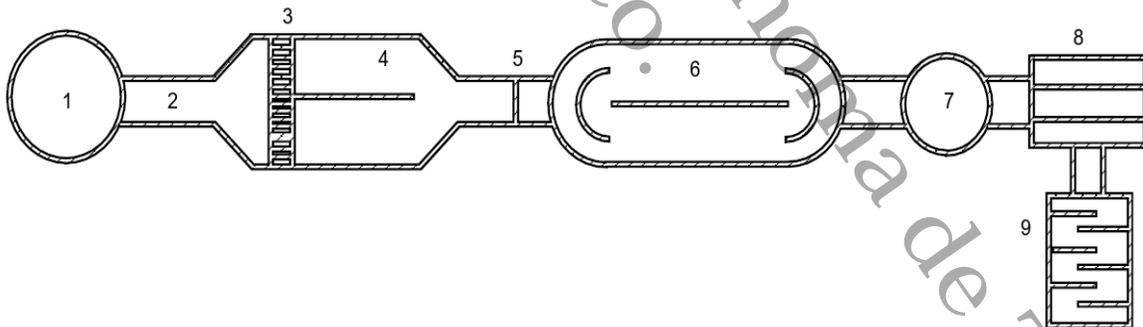
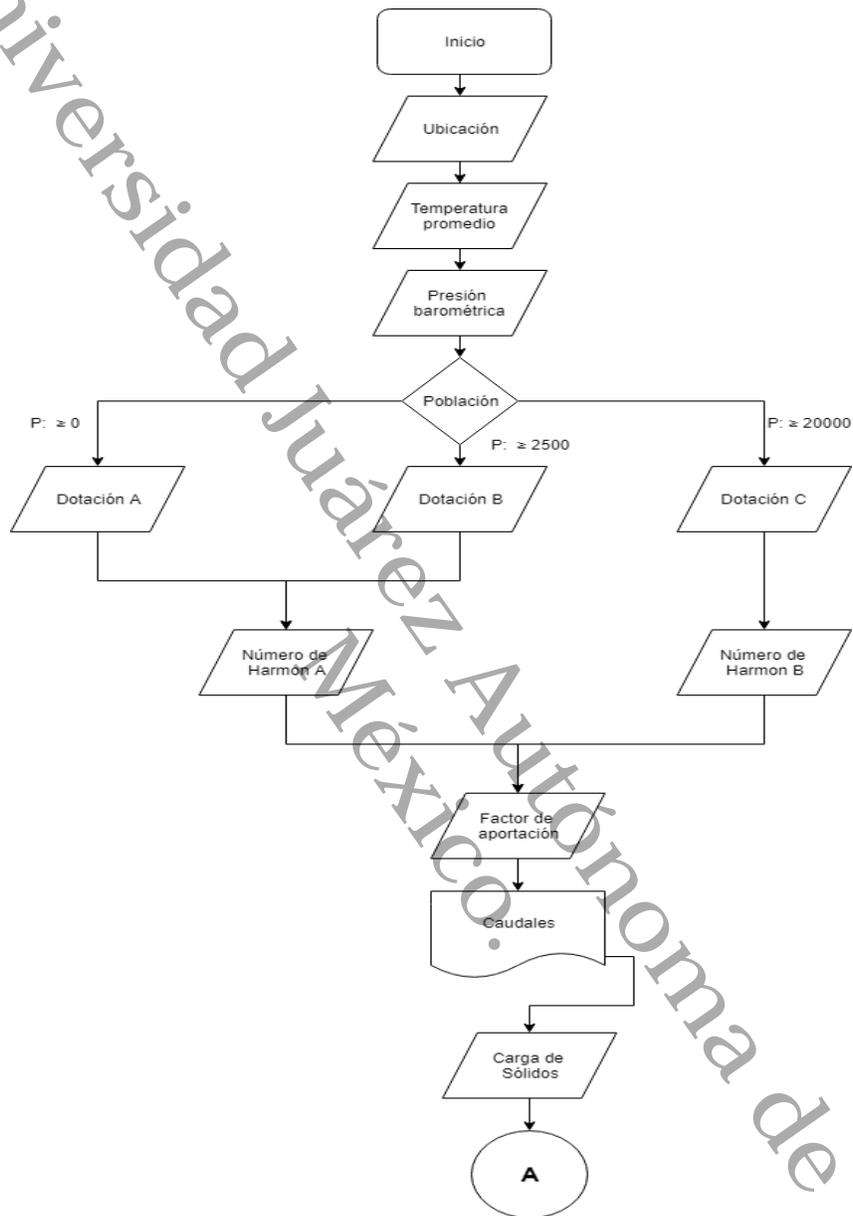
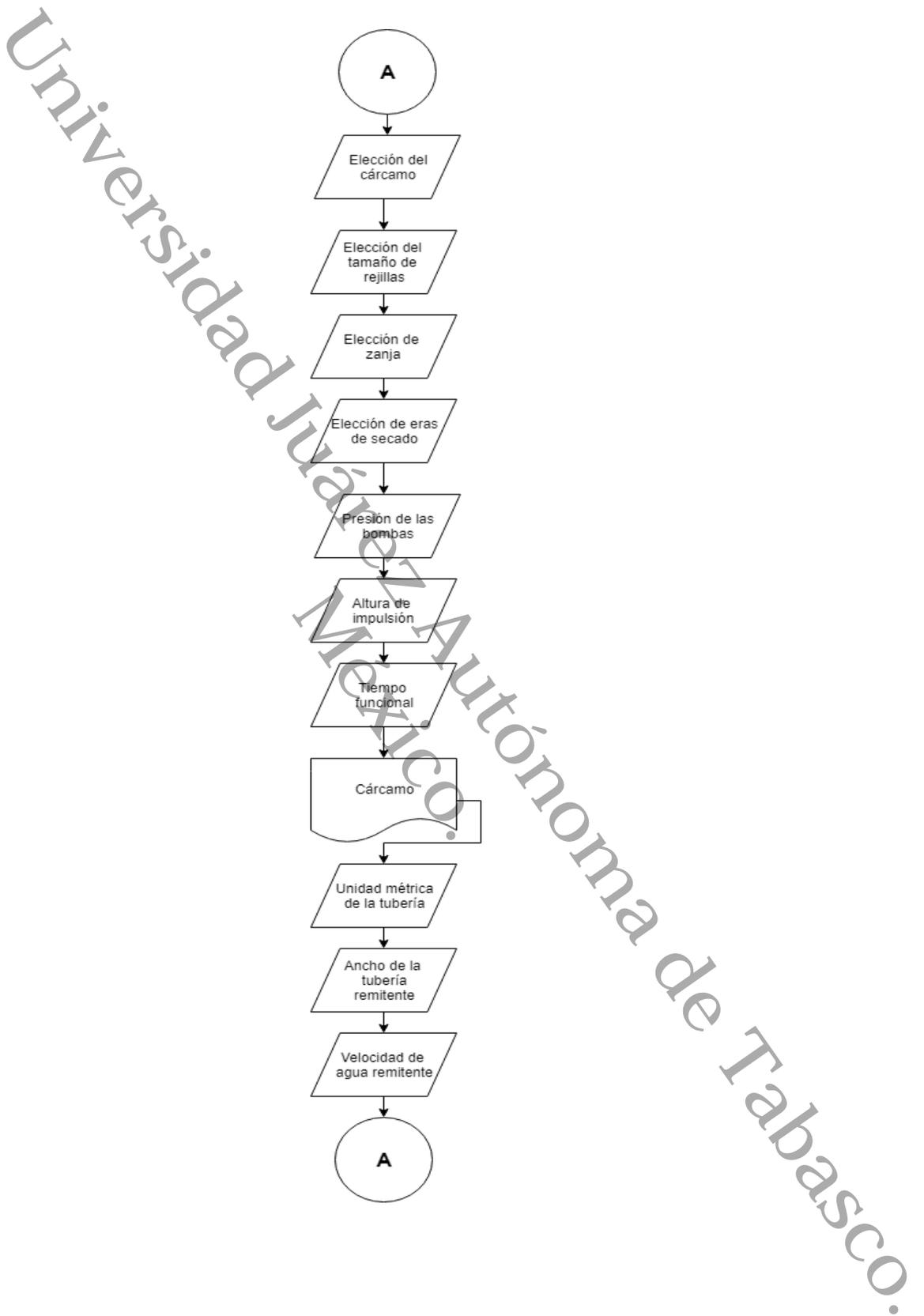
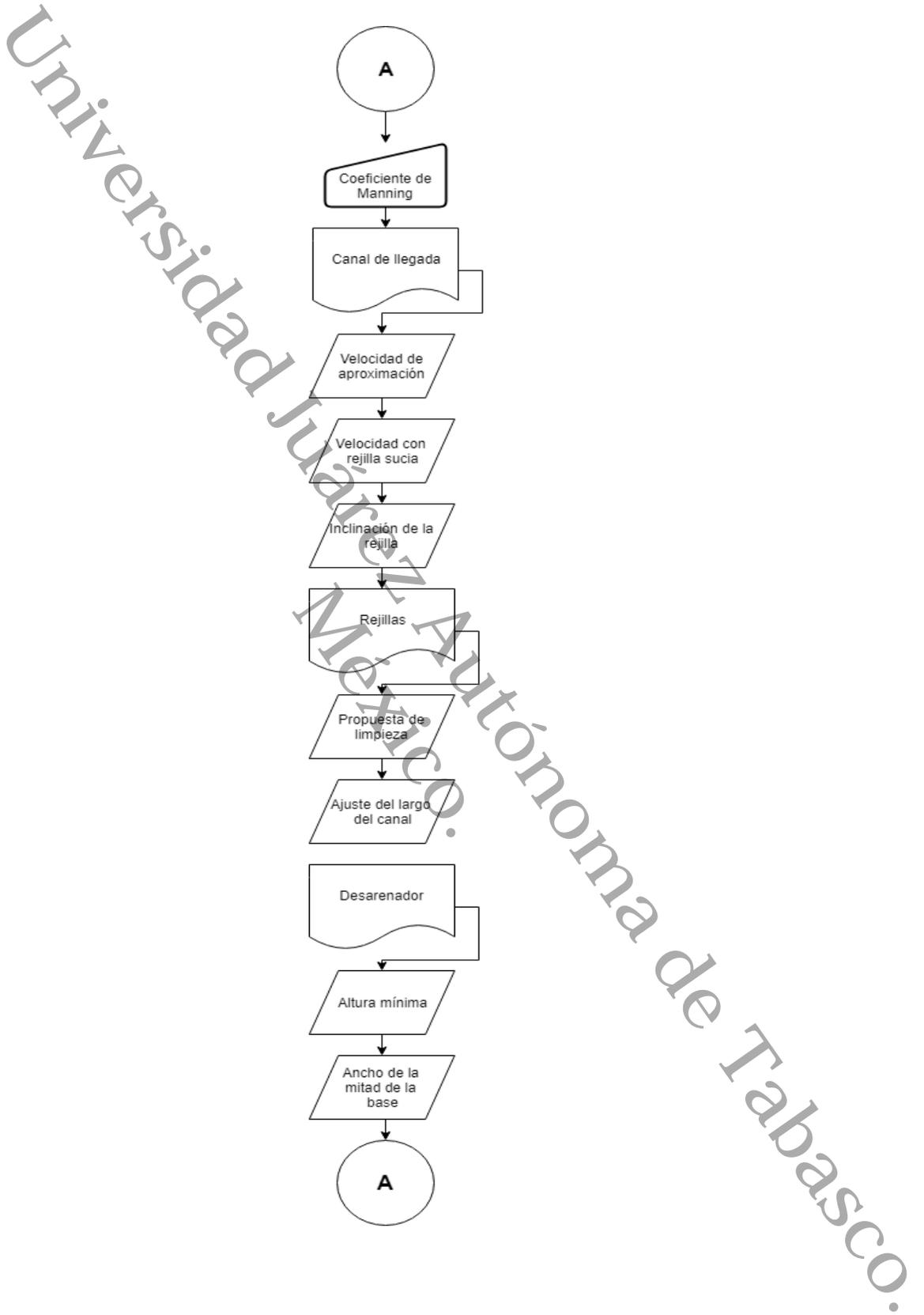
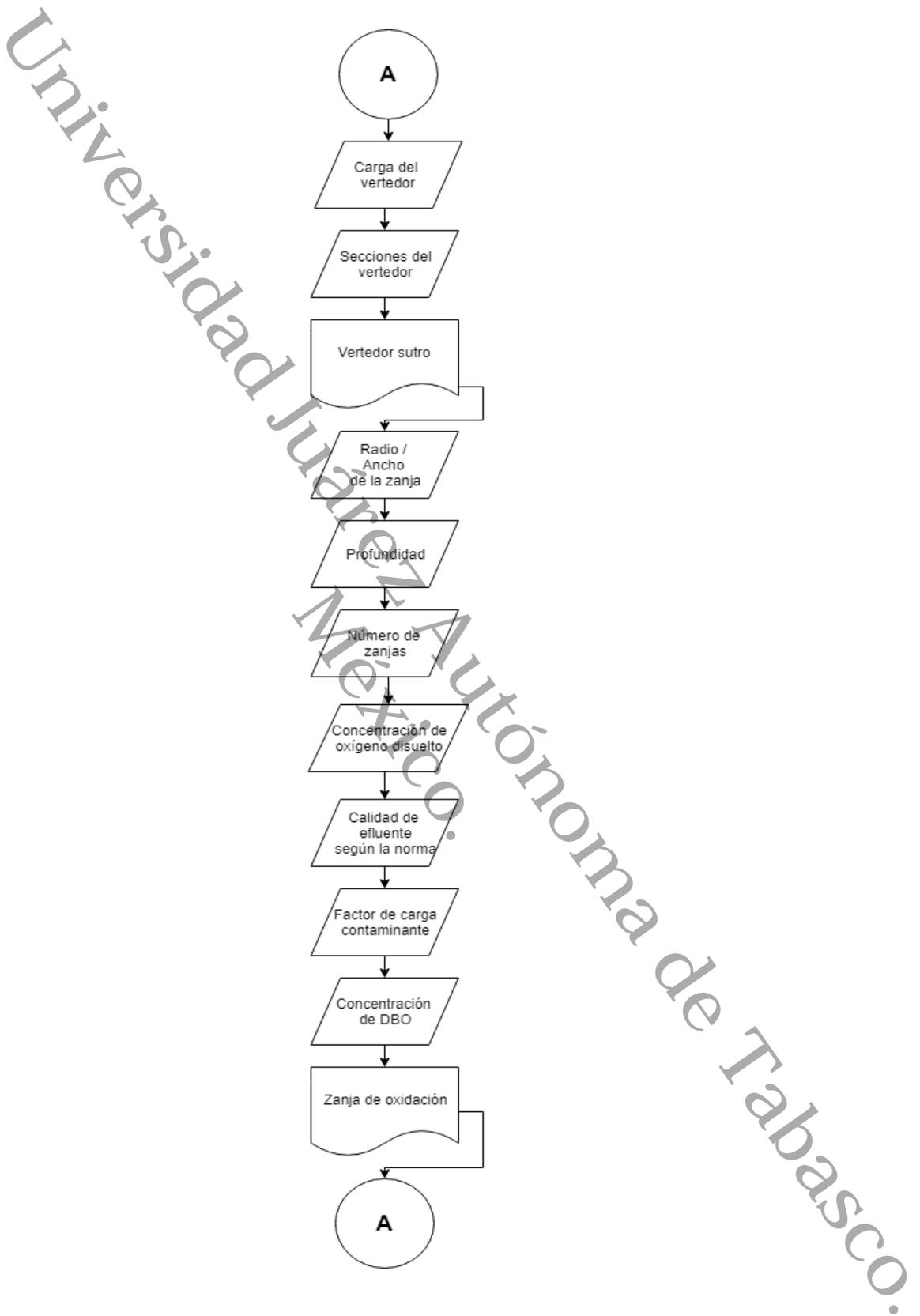


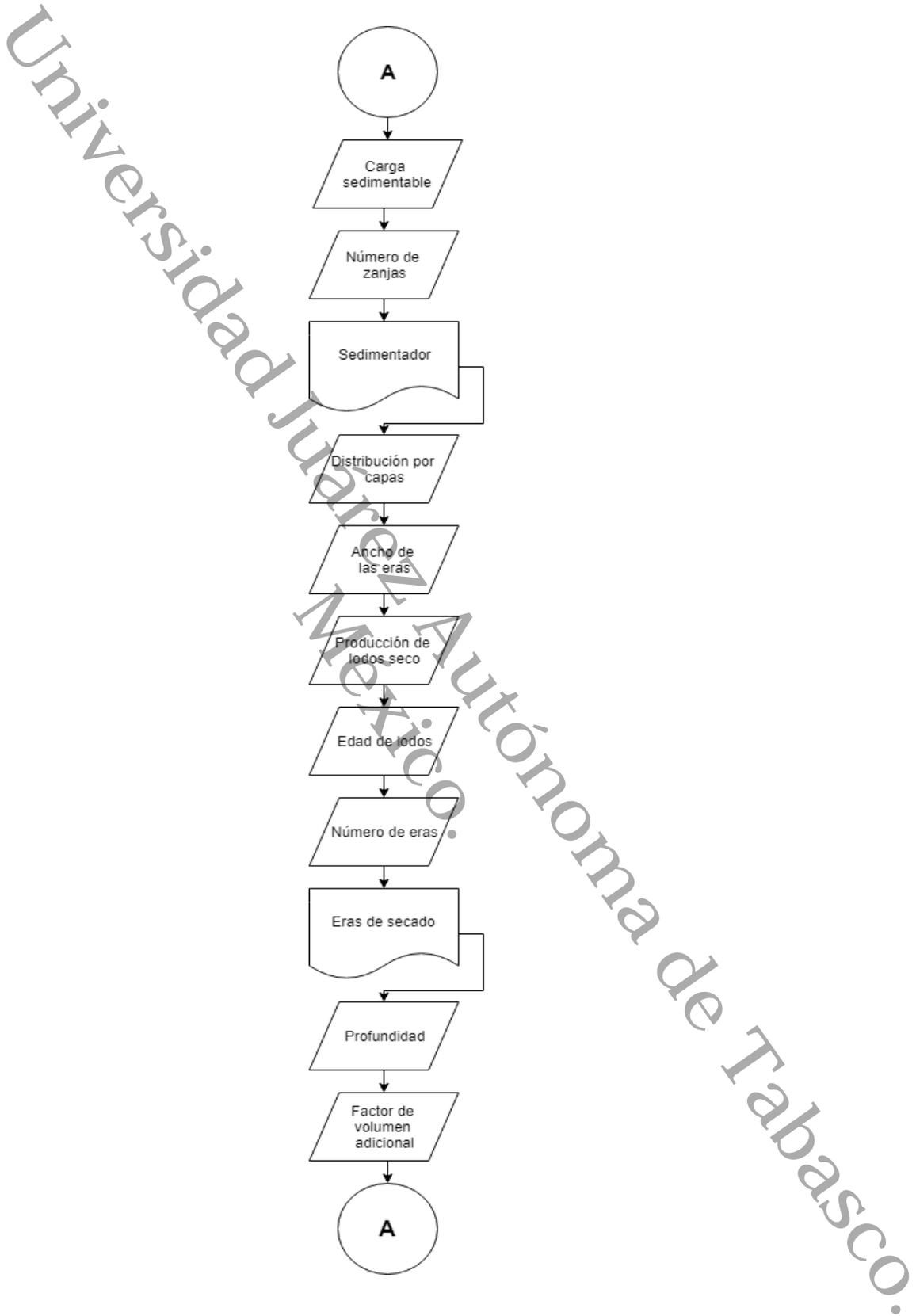
Diagrama de flujo del programa

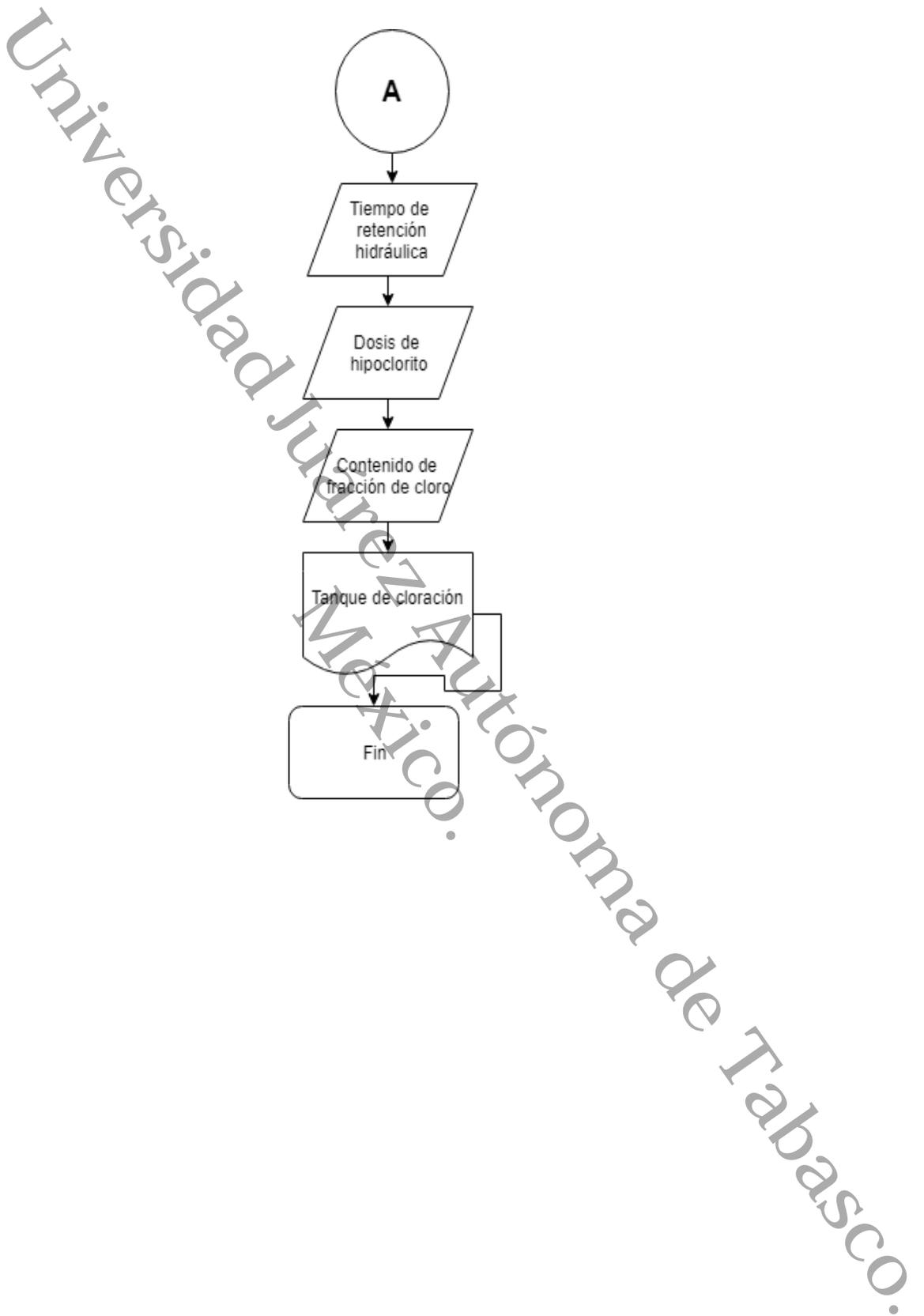












Planta Fracc. Valle Marino

Este fraccionamiento se encuentra ubicado en Hipocampo esq., Av del Mar, El Recreo, 86020 Villahermosa, Tab. Se construyó en 1990 y tiene en la actualidad una población de alrededor de 3600 habitantes. Es un fraccionamiento urbano integrado a la mancha urbana del municipio de Centro.

Pazox (programa aplicado a las zanjas de oxidación) al iniciarse presenta cuatro pestañas, una habilitada y tres deshabilitadas; la pestaña habilitada se llama “datos del lugar”, está dividida en 7 marcos que se describirán subsecuentemente, se tiene que crear un archivo en el menú del mismo nombre, en este aparece la opción de “nuevo” (Figura 3), en esta opción se solicita el nombre del archivo, el nombre del usuario y el nombre del proyecto (Figura 4).

Figura 3. Ventana principal de PAZOX, se muestra el menú archivo y la opción de nuevo.

The screenshot displays the main window of the PAZOX software, titled "Programa aplicado a las zanjas de oxidación". The window has a standard Windows-style title bar with minimize, maximize, and close buttons. Below the title bar is a menu bar with the following options: "Archivo", "Lugar", "Pretratamiento", "Vertedor y zanjas", and "Sedimentador, tratamiento de lodos y tanque de cloración". The "Archivo" menu is open, showing a "Nuevo" option. The main area of the window is divided into several sections:

- Datos del proyecto:** Includes a dropdown for "Elija el estado", text input for "Altura sobre el nivel del mar" (0), "Temperatura promedio en °C" (0.0), and "Presión barométrica en mmHg" (0.0).
- Caudales:** Includes text input for "Población:" (0), "Dotación L/hab*día:" (0), "Harmon:" (0.0) with an "Ajustar Harmon" button, and "Factor de aportación:" (0.775) with a "Ver resultado de caudales" button.
- Datos de calidad del agua:** Includes a text input for "Carga de sólidos en suspensión en mg/L:" (92).
- Elección de cárcamo:** Radio buttons for "Circular" and "Rectangular".
- Elección de rejillas:** Radio buttons for "Pequeñas", "Medianas", and "Grandes".
- Elección de zanjas:** Radio buttons for "Orbal", "Pared Isla", "Recta", and "Herradura".
- Elección de tratamiento de lodos:** Radio button for "Eras".

A "Continuar proceso" button is located at the bottom right of the main area.

Figura 4. Subventana de archivo.

Programa aplicado a las zanjas de oxidación

Archivo

Datos del lugar: Pretratamiento, Vertedor y zanjas, Sedimentador, tratamiento de lodos y tanque de cloración

Datos del proyecto

Elija el estado

Altura sobre el nivel del mar

Temperatura promedio en °C

Presión barométrica en mmHg:

Caudales

Población:

Dotación L/hab*día:

Harmon:

Factor de aportación:

Datos de calidad del agua

Carga de sólidos en suspensión en mg/L:

Elección de cárcamo

Elección de rejillas

Elección de zanjas

Elección de tratamiento de lodos

Continuar proceso

Al oprimir el botón de “aceptar” aparece un mensaje que avisa al usuario que su archivo fue creado exitosamente (Figura 5).

Figura 5. Mensaje de archivo creado

Programa aplicado a las zanjas de oxidación

Archivo

Datos del lugar: Pretratamiento, Vertedor y zanjas, Sedimentador, tratamiento de lodos y tanque de cloración

Datos del proyecto

Elija el estado

Altura sobre el nivel del mar

Temperatura promedio en °C

Presión barométrica en mmHg:

Caudales

Población:

Dotación L/hab*día:

Harmon:

Factor de aportación:

Datos de calidad del agua

Carga de sólidos en suspensión en mg/L:

Elección de cárcamo

Elección de rejillas

Elección de zanjas

Elección de tratamiento de lodos

Continuar proceso

Archivo del proyecto

¡Archivo creado con éxito!

Aceptar

En la ventana principal, en el marco “datos del proyecto”, se le solicita al usuario que seleccione el estado donde desea hacer su diseño (Figura 6), en una lista

aparecen los 32 estados de la República, seguido de esto se necesita ingresar su altura sobre el nivel del mar, su temperatura promedio y su presión barométrica (Figura 7). En este marco se le ingresó el estado de Tabasco, con una altura sobre el nivel del mar de 10 m, una temperatura promedio de 25° C, y una presión barométrica de 757 mmHg.

Figura 6. Selección del estado donde se diseñará la planta de tratamiento

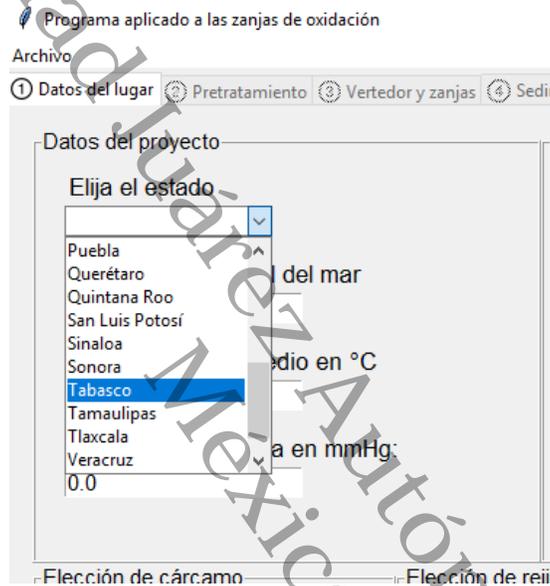
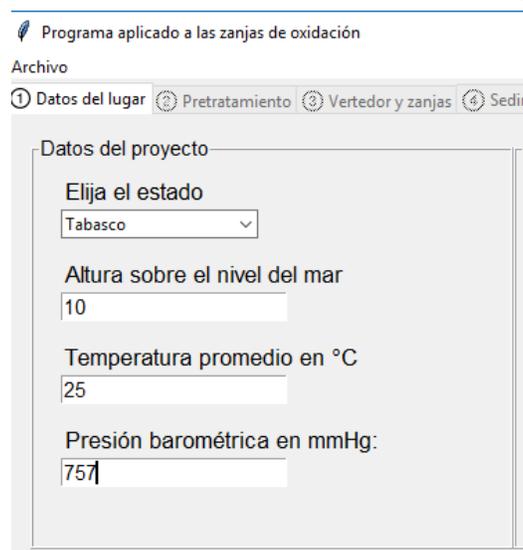


Figura 7. Altura sobre el nivel del mar, temperatura promedio y presión barométrica solicitada por el programa



Caudales

En el siguiente marco llamado “caudales”, se solicita el ingreso de la población proyectada, la dotación y el Harmon, el factor de aportación aparece por defecto, pero se puede modificar (Figura 8), esto mismo ocurre con diferentes valores mostrados en el programa. Si el usuario no conoce el valor de la dotación, al oprimir el botón con forma de signo de interrogación se despliega un mensaje con la sugerencia de este valor basado en el tamaño de la población proyectada (Figura 9); el Harmon, si no se conoce, con el botón “ajustar Harmon” el programa lo calcula automáticamente. A este marco se le ingresaron valores de población de 3600 habitantes, una dotación de 240 L/hab*día, un Harmo de 3.5 y el factor de aportación se dejó por defecto.

Figura 8. Marco de Caudales

mentador, tratamiento de lodos y tanque de cloración

Caudales

Población:
3600

Dotación L/hab*día:
0

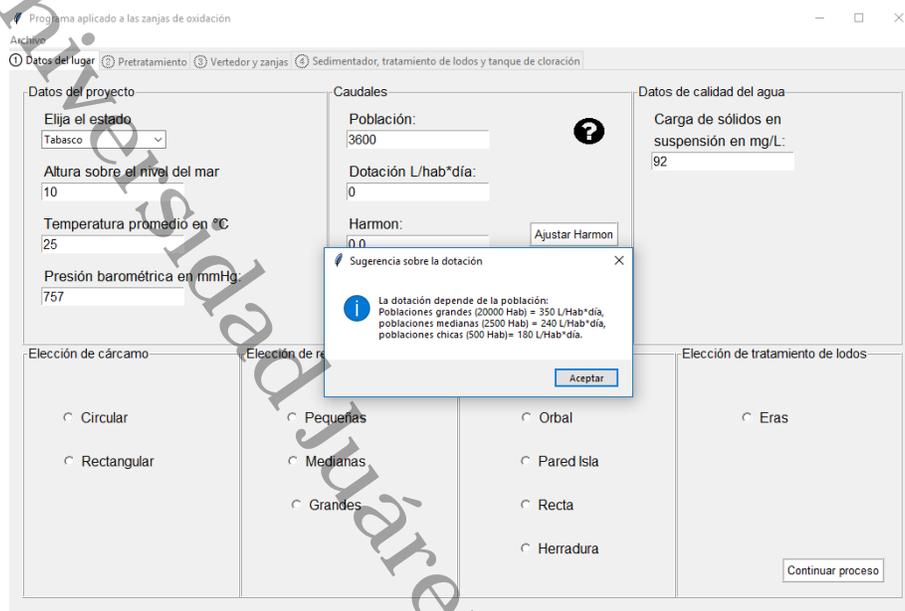
Harmon:
0.0

Factor de aportación:
0.775

Ajustar Harmon

Ver resultado de caudales

Figura 9. Sugerencia de la dotación basada en la población proyectada



Al oprimir el botón de “ver resultados de caudales”, se despliega una ventana con los cuatro principales caudales que se usan en los demás procesos (Figura 10). Al oprimir el menú “archivo”, se muestra la opción de “guardar” al oprimir en esta, nuestros resultados se guardan en el archivo creado anteriormente, este paso se repite para cada resultado que el usuario requiera guardar (Figura 11).

Figura 10. Resultados del marco de caudales

The screenshot shows a software window titled "Resultado de caudales" with a menu bar containing "Archivo". The main content is divided into several sections:

- Resultados de caudales:** A list of calculated flow rates:
 - Caudal promedio en L/s: 8.07
 - Caudal mínimo en L/s: 4.04
 - Caudal máximo en L/s: 28.26
 - Caudal máximo extraordinario en L/s: 40.4
- Caudales:** Input fields for:
 - Población: 3600
 - Dotación L/hab*día: 250
 - Harmon: 3.5 (with an "Ajustar Harmon" button)
 - Factor de aportación: 0.775 (with a "Ver resultado de caudales" button)
- Datos de calidad del agua:** Input field for "Carga de sólidos en suspensión en mg/L": 92.
- Elección de cárcamo:** Radio buttons for "Circular" and "Rectangular".
- Elección de rejillas:** Radio buttons for "Pequeñas", "Medianas", and "Grandes".
- Elección de zanjas:** Radio buttons for "Orbal", "Pared Isla", "Recta", and "Herradura".
- Elección de tratamiento de lodos:** Radio button for "Eras".
- A "Continuar proceso" button is located at the bottom right.

Figura 11. Cómo guardar resultados en el archivo creado

This screenshot is identical to Figure 10, but with the "Archivo" menu open and the "Guardar" option highlighted in blue. The rest of the interface, including the flow rate results, input parameters, and selection options, remains the same.

El siguiente marco es "datos de calidad del agua" muestra por defecto el valor de carga de sólidos en suspensión con un valor de 92 mg/L (Figura 12).

Figura 12. Marco de calidad del agua

Datos de calidad del agua

Carga de sólidos en suspensión en mg/L:

92

Los siguientes marcos sirven para elegir la configuración de los procesos, como es el caso de la elección del cárcamo, en el cual se puede seleccionar circular o rectangular; en el marco de las rejillas, se selecciona el tamaño de estas. La configuración de las zanjas se elige en su propio marco y en el marco de “tratamiento de lodos” se aparece la opción de “eras de secado”.

Para estos marcos se seleccionó, el cárcamo circular, las rejillas pequeñas, la zanja orbital y la elección de las eras de secado como tratamiento de lodos (Figura 13).

Figura 13. Marcos de elección de configuración

Elección de cárcamo	Elección de rejillas	Elección de zanjas	Elección de tratamiento de lodos
<input checked="" type="radio"/> Circular	<input checked="" type="radio"/> Pequeñas	<input checked="" type="radio"/> Orbital	<input checked="" type="radio"/> Eras
<input type="radio"/> Rectangular	<input type="radio"/> Medianas	<input type="radio"/> Pared Isla	
	<input type="radio"/> Grandes	<input type="radio"/> Recta	
		<input type="radio"/> Herradura	

Continuar proceso

Para continuar el proceso, se oprime en el botón con el mismo nombre. Al hacer esto se pueden activar la siguiente pestaña llamada “pretratamiento”.

[Cárcamo](#)

En la pestaña mencionada anteriormente, se divide en cuatro marcos (Figura 14), la primera de esta es la referente al cárcamo. En este, los valores de presión para las bombas y la altura de impulsión se presentan por defecto tomando en cuenta la altura a nivel del mar del lugar; el tiempo funcional tiene un límite inferior de 10 minutos y un límite superior de 60 minutos, los valores mencionados primero no se modificaron, y el tiempo funcional le ingresamos 10 minutos (Figura 15).

Figura 14. Pantalla de la segunda pestaña

Programa aplicado a las zanjas de oxidación

Archivo

① Datos del lugar ② Pretratamiento ③ Vertedor y zanjas ④ Sedimentador, tratamiento de lodos y tanque de cloración

Datos del cárcamo

Presión necesaria para las bombas en Kg/cm²: 1.033

Altura de impulsión en m: 10.33

Tiempo funcional en minutos: 10

Ver resultado del cárcamo

Datos del canal de rejillas

Velocidad de aproximación m/s: 0.3

Velocidad con rejillas sucias en m/s: 0.9

θ de inclinación: 45

Ver resultado de las rejillas

Datos del canal de llegada

Ancho de tubería remitente Metros Pulgadas

0.0

Velocidad de agua remitente m/s: 1.4

Coefficiente de Manning: 0.013

Ver resultado del canal de llegada

Datos del desarenador

Propuesta de limpieza en días: 3

Ajuste para el largo del canal: 3

Ver esquema del pretratamiento

Ver resultado del desarenador

Figura 15. Marco de cárcamo

Datos del cárcamo

Presión necesaria para las bombas en Kg/cm²: 1.033

Tiempo funcional en minutos: 10

Altura de impulsión en m: 10.33

Ver resultado del cárcamo

Al oprimir el botón para ver los resultados del cárcamo, aparece una ventana con estos, de la misma manera que en los resultados de los caudales, se guarda con el menú de archivo y la opción de guardar (Figura 16).

Figura 16. Resultados del cárcamo

Resultado de cárcamo

Archivo

Dimensiones del cárcamo circular:

Volumen en m ³ :	59.29	Tiempo de llenado a caudal mínimo en minutos:	254.99
Área superficial en m ² :	5.93	Tiempo de vaciado en minutos:	42.5
Radio en m:	1.37	Ciclo de operación en minutos:	78.93
Diámetro en m:	2.75	Ciclo de operación por hora:	0.76
Tiempo de llenado a caudal máximo en minutos:	36.43		

Canal de llegada

El marco siguientes es el de “datos del canal de llegada”, el programa solicita el ancho de la tubería remitente y este valor se puede ingresar en metros o en pulgadas al seleccionar el botón de radio que se encuentra al lado, el valor de velocidad del agua remitente se muestra por defecto, el coeficiente de Manning

también está dado por defecto pero no se puede modificar, es el unico valor que está deshabilitado. Se ingresó un valor de tubería remitente de 12" y no se modificó la velocidad de agua remitente quedando en 14 m/s (Figura 17).

Figura 17. Marco del canal de llegada

Datos del canal de llegada

Ancho de tubería remitente Metros Pulgadas

12

Velocidad de agua remitente m/s:

1.4

Coeficiente de Manning:

0.013

Ver resultado del canal de llegada

Los resultados de este proceso se muestran a continuación y se siguen los mismos pasos para guardar que en los anteriores (Figura 18).

Figura 18. Resultados del canal de llegada

Resultado del canal de llegada

Archivo

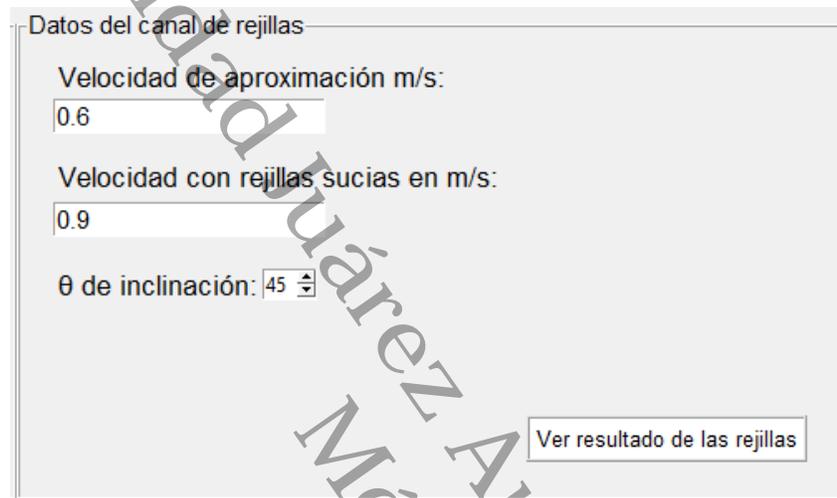
Área superficial en m ² :	Radio hidráulico en m:
0.17	0.06
Altura en m:	Pendiente en m:
0.09	0.015
Altura efectiva en m:	Velocidad del canal en m/s:
0.39	63.57
Largo del canal en m:	
0.6	

Canal de rejillas

En el siguiente marco, "datos del canal de rejillas", aparecen en pantalla, por defecto, los valores de la velocidad de aproximación y la velocidad

con rejillas sucias; la inclinación de las rejillas tiene un valor mínimo de 45° y un valor máximo de 60°. Se modificó el valor de la velocidad de aproximación a 0.6 m/s, la velocidad con rejillas sucias no se modificó así que su valor fue de 9 m/s y la inclinación es de 45° (Figura 19).

Figura 19. Marco de rejillas



Datos del canal de rejillas

Velocidad de aproximación m/s:
0.6

Velocidad con rejillas sucias en m/s:
0.9

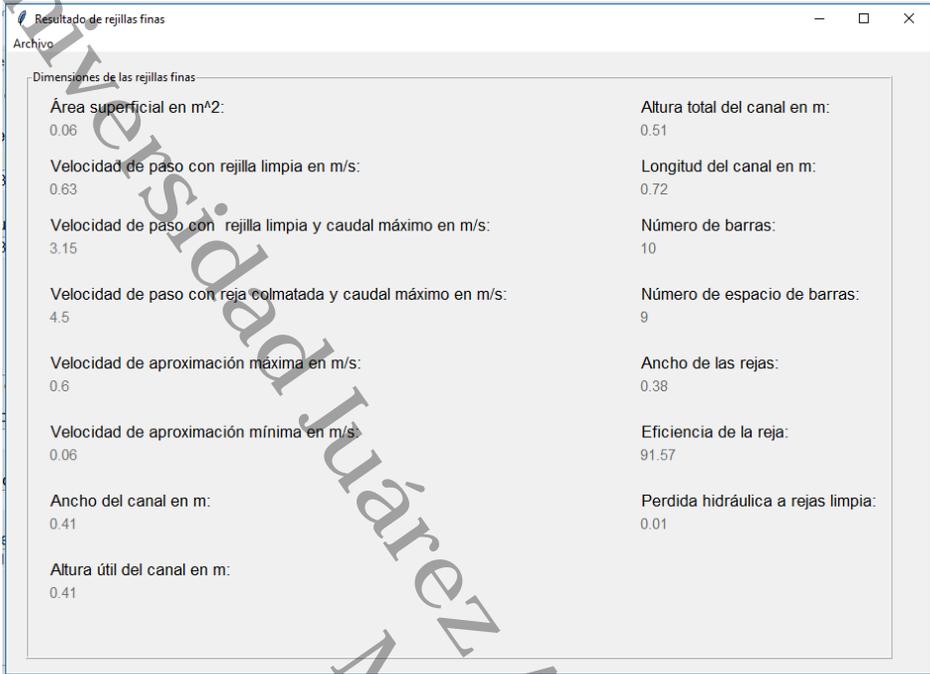
θ de inclinación: 45

Ver resultado de las rejillas

Los resultados dependen del tamaño de rejilla ingresados al comienzo, si son rejillas pequeñas, sólo se muestran resultados de estas, si son medianas, se muestran resultados de las rejillas pequeñas y de las rejillas medianas; al elegir las rejillas grandes los resultados muestran rejillas pequeñas, medianas y grandes.

Se seleccionó rejillas pequeñas al comienzo y los resultados obtenidos se muestran en la figura 20.

Figura 20. Resultados de las rejillas pequeñas



Dimensiones de las rejillas finas	
Área superficial en m ² :	0.06
Velocidad de paso con rejilla limpia en m/s:	0.63
Velocidad de paso con rejilla limpia y caudal máximo en m/s:	3.15
Velocidad de paso con rejilla colmatada y caudal máximo en m/s:	4.5
Velocidad de aproximación máxima en m/s:	0.6
Velocidad de aproximación mínima en m/s:	0.06
Ancho del canal en m:	0.41
Altura útil del canal en m:	0.41
Altura total del canal en m:	0.51
Longitud del canal en m:	0.72
Número de barras:	10
Número de espacio de barras:	9
Ancho de las rejas:	0.38
Eficiencia de la reja:	91.57
Perdida hidráulica a rejas limpia:	0.01

Desarenador

El último marco de esta pestaña es el llamado "datos del desarenador", en este se muestran el valor de propuesta de limpieza por defecto y la relación de ajuste del canal tiene un rango entre 3 y 5. Se dejó el valor por defecto de la propuesta de limpieza que es de 3 días y el ajuste de canal en 5 (figura 22). Justo al lado del botón para ver resultados, hay un botón que despliega una ventana donde se muestra un diagrama de esta parte del tren de tratamiento para guía del usuario.

Figura 21. Marco del desarenador

Datos del desarenador

Propuesta de limpieza en días:
3

Ajuste para el largo del canal: 5

Ver esquema del pretratamiento Ver resultado del desarenador

Figura 22. Esquema del pretratamiento

Programa aplicado a las zanjas de oxidación

Archivo

Esquema del cárcamo circular antes del pretratamiento

Cárcamo Canal de llegada Rejillas Desarenador

Ver resultado de las rejillas

Datos del canal de llegada

Ancho de tubería remitente Metros Pulgadas
12

Velocidad de agua remitente m/s:
1.4

Coficiente de Manning:
0.013

Ver resultado del canal de llegada

Datos del desarenador

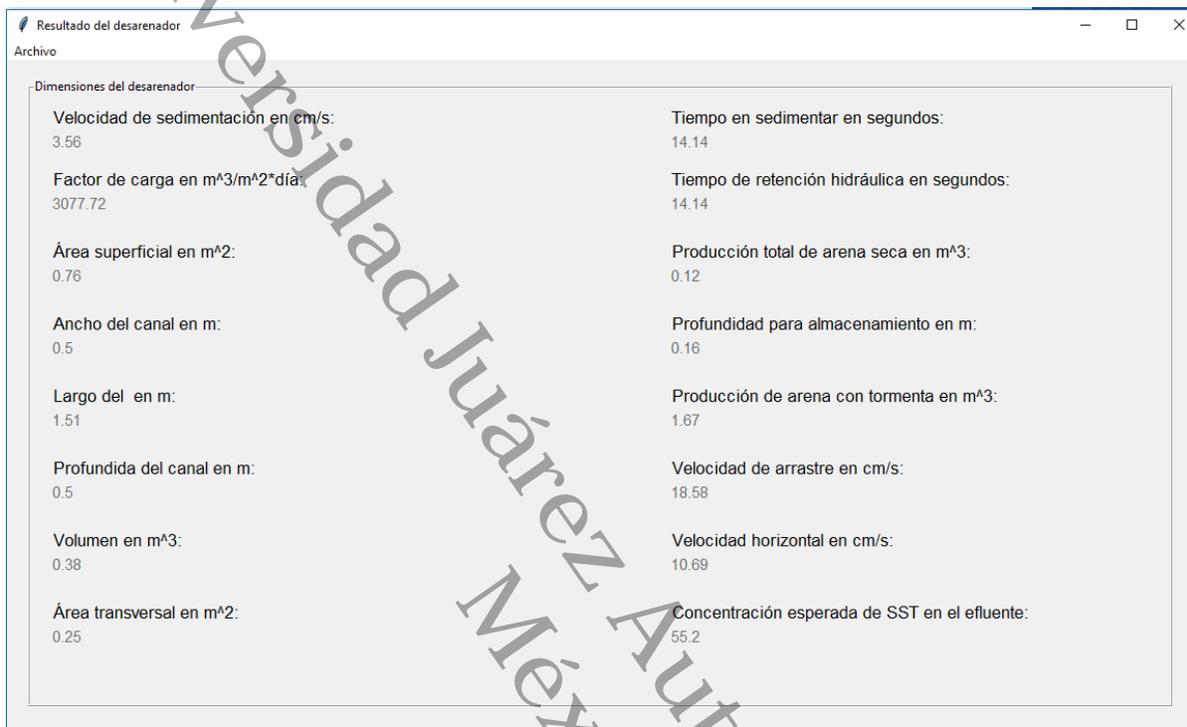
Propuesta de limpieza en días:
3

Ajuste para el largo del canal: 5

Ver esquema del pretratamiento Ver resultado del desarenador

Los resultados del desarenador se muestran en la figura 23.

Figura 23. Resultados del desarenador



Al acabar con el pretratamiento el usuario puede continuar con la siguiente pestaña que se llama “vertedor sutor y zanja de oxidación”, al igual que esta, se divide en 4 marcos que serán explicados a continuación (Figura 24).

Figura 24. Pestaña de vertedor y zanjas

Programa aplicado a las zanjas de oxidación

Archivo

1 Datos del lugar 2 Pretratamiento 3 Vertedor y zanjas 4 Sedimentador, tratamiento de lodos y tanque de cloración

Datos del vertedor suto

Altura mínima en cm: 10

Número de secciones: 0

Ancho de la mitad de la base en cm: 0.0

Carga del vertedor en cm: 0.0

Ver resultado del vertedor suto

Datos de diseño de zanja orbal

Radio en m: 0

Número de zanjas: 1

Profundidad en m: 0.0

Datos dentro del zanjón orbal

Concentración de O2 disuelto en el zanjón en mg/L: 1.5

Calidad del efluente según la norma: 30

Carga contaminante en la zanja orbal

Factor de carga contaminante en DBO/hab*día: 0.0

Concentración de DBO en mg/L: 0

Ver esquema del vertedor y zanja

Ver resultado de la zanja orbal

Vertedor suto

El primer marco de esta nueva pestaña se llama “datos del vertedor suto”, en este el valor de la altura mínima está dado por defecto, al usuario se le solicita el ancho de mitad de la base, la carga del vertedor y el número de secciones. El ancho de mitad de la base y la carga del vertedor, son el ancho y la profundidad del desarenador, en los resultados de este proceso esos valores eran iguales a 0.5 m; como el vertedor suto los solicita en cm, entonces los valores ingresados son 50 cm. El número de secciones que se ingresó fue de 8 y la altura mínima se dejó en 10 cm (Figura 25).

Figura 25. Marco del vertedor sutro

Datos del vertedor sutro

Altura minima en cm: 10

Número de secciones: 8

Ancho de la mitad de la base en cm: 50

Carga del vertedor en cm: 50

Ver resultado del vertedor sutro

Los resultados del vertedor sutro se muestran en la figura 26.

Figura 26. Resultados del vertedor sutro

Altura en cm:	Ancho en cm:	Vertedor proporcional en cm:	Caudal en m ³ /s:
6.250000	23.790000	47.580000	0.150000
12.500000	18.920000	37.850000	0.160000
18.750000	16.930000	33.860000	0.180000
25.000000	15.810000	31.610000	0.190000
31.250000	15.070000	30.140000	0.200000
37.500000	14.550000	29.090000	0.220000
43.750000	14.150000	28.300000	0.230000
50.000000	13.840000	27.670000	0.240000
60.000000	13.450000	26.900000	0.260000

Caudal cuando el tirante es mayor en m³/s:
5.84

Zanja orbal

Los siguientes tres marcos están relacionados a las zanjas de oxidación, el marco “datos de diseño de la zanja” varía dependiendo el tipo de zanja seleccionado, en este caso se seleccionó la orbal y se nos solicita el valor del radio de la zanja, de la profundidad y el número de zanjas que se quiere diseñar con un rango de 1 a 10.

El radio ingresado fue de 15 m, la profundidad de 3 m y sólo se diseñará una zanja orbal (Figura 27).

Figura 27. Marco de datos de la zanja orbal



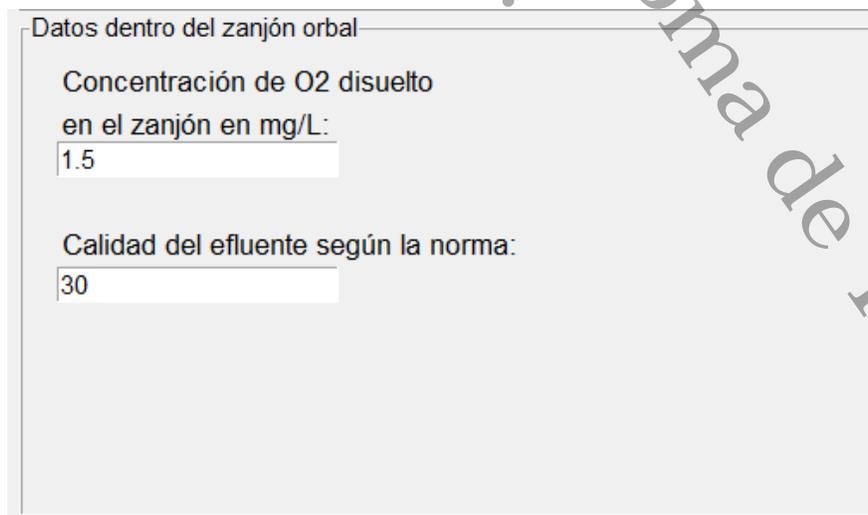
Datos de diseño de zanja orbal

Radio en m: Número de zanjas:

Profundidad en m:

El siguiente marco es el de “datos dentro del zanjón orbal”, en este se muestran por defecto el valor de la concentración de oxígeno disuelto que es de 1.5 mg/L y la calidad del efluente según la norma que es de 30 mg/L de DBO (figura 28).

Figura 28. Marco datos del zanjón orbal



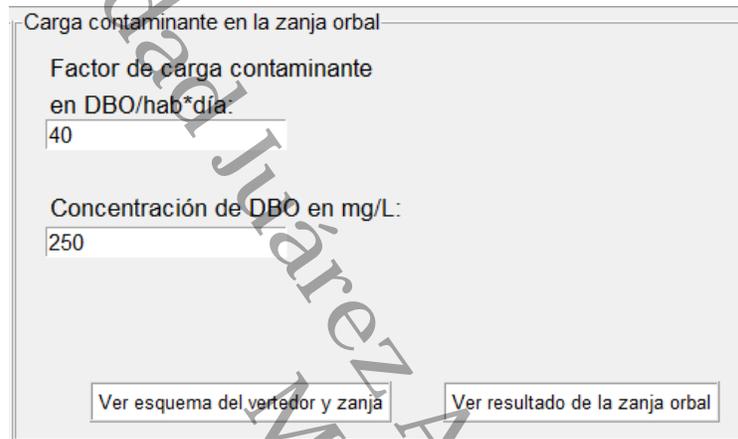
Datos dentro del zanjón orbal

Concentración de O₂ disuelto en el zanjón en mg/L:

Calidad del efluente según la norma:

El ultimo marco es el de “carga contaminante en la zanja orbal”, donde se solicita el factor de carga contaminante y la concentración de DBO. Se ingresó un factor de carga de 40 DBO/hab*día y una concentración de DBO de 250 mg/L (Figura 29).

Figura 29. Marco de carga contaminante en la zanja orbal



Carga contaminante en la zanja orbal

Factor de carga contaminante en DBO/hab*día:
40

Concentración de DBO en mg/L:
250

Ver esquema del vertedor y zanja Ver resultado de la zanja orbal

Al igual que en la pestaña anterior se puede mostrar un esquema del vertedor y la zanja elegida (Figura 30).

Programa aplicativo a las zanjas de oxidación

Archivo

1 Datos del lugar 2 Pretratamiento 3 Vertedor y zanjas 4 Sedimentador, tratamiento de lodos y tanque de cloración

Datos del vertedor

Esquema del vertedor sutro, la zanja orbal y sedimentador

Vertedor sutro Zanja

Sedimentador

Datos dentro de

Concentración de O2 disuelto en el zanjón en mg/L: 1.5

Factor de carga contaminante en DBO/hab*día: 40

Calidad del efluente según la norma: 30

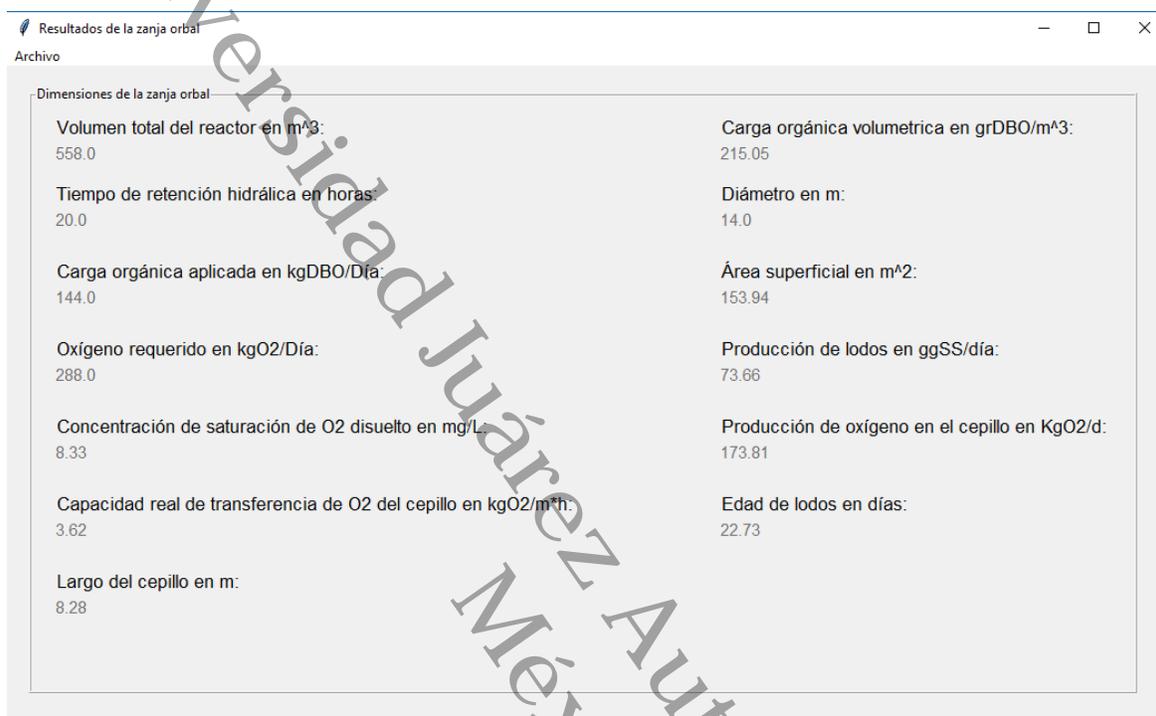
Concentración de DBO en mg/L: 250

Ver esquema del vertedor y zanja Ver resultado de la zanja orbal

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Los resultados de la zanja orbal se presenta en la figura 31.

Figura 31. Resultados de la zanja orbal



El usuario ya puede pasar a la siguiente pestaña llamada “sedimentador, tratamiento de lodos y tanque de cloración” (Figura 32). De igual manera que las anteriores se divide en cuatro marcos. Uno para los datos del sedimentador, otro para los datos de las eras de secado y dos para los datos del tanque de cloración.

Figura 32. Pestaña “sedimentador, tratamiento de lodos y tanque de cloración.”

Programa aplicado a las zanjas de oxidación

Archivo

① Datos del lugar ② Pretratamiento ③ Vertedor y zanjas ④ Sedimentador, tratamiento de lodos y tanque de cloración

Datos del sedimentador secundario

Carga sedimentable en $m^3/m^2 \cdot día$
20

Número de zanjas: 1

Ver resultado del sedimentador circular

Datos de diseño de las eras de secado

Distribución de capas en m: 0.2 Número de eras: 1

Ancho de cada era en m: 0.0

Producción de lodo seco en $L/hab \cdot día$: 0.1

Edad de lodos en días: 30

Ver resultado de las eras

Datos de diseño del tanque de cloración

Profundidad en m: 0.0

Factor de volumen adicional: 1.5

Tiempo de retención hidráulica en minutos: 0.0

Datos de la cloración en el tanque

Dosis de ClO^- en g/m^3 : 2

Contenido en fracción de Cl: 65

Ver esquema de lodos y cloración Ver resultado del tanque de cloración

Sedimentador

El primer marco de esta pestaña se llama “datos del sedimentador” en este se presenta por defecto la carga sedimentable y se solicita de nuevo el número de zanjas que se diseña. El dato de carga sedimentable se dejó por defecto con el valor de $20 m^3/m^2 \cdot día$ (Figura 33).

Figura 33. Marco datos del sedimentador

Datos del sedimentador secundario

Carga sedimentable en $m^3/m^2 \cdot día$
20

Número de zanjas: 1

Ver resultado del sedimentador circular

Los resultados del sedimentador se muestran en la figura 34.

Figura 34. Resultados del sedimentador secundario

Resultado del sedimentador

Archivo

Dimensión del sedimentador secundario

Área superficial del sedimentador en m^2 :
33.48

Diámetro del tanque en m:
6.53

Volumen del tanque en m^3 :
167.4

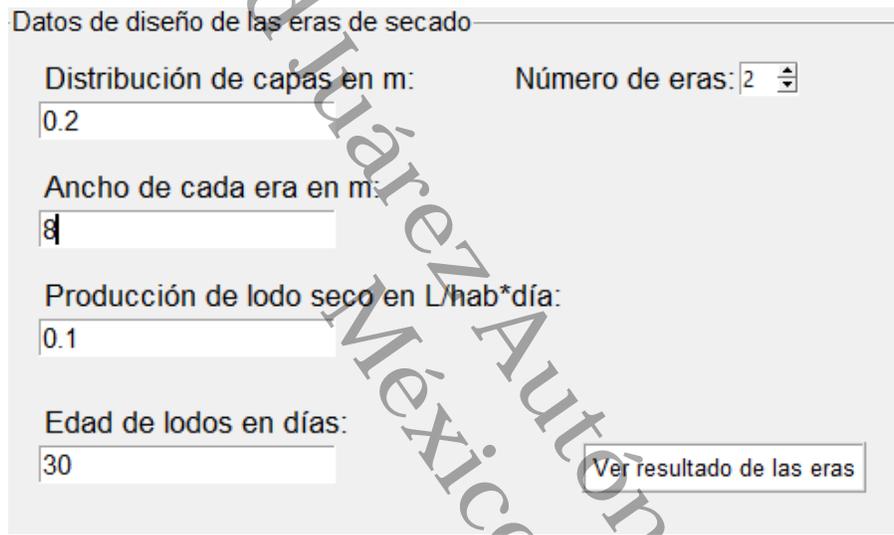
Profundidad en m:
5.0

Tiempo de retención hidráulica en horas:
6.0

Eras de secado

La siguiente “datos de diseño de las eras de secado”, se presentan por defecto los valores de la distribución de capas con un valor de 0.2 m, la producción de lodo seco es igual a 0.1 L/hab*día; la edad de lodos es de 30 días y el número de eras tiene un rango de 1 a 10. Se solicita el ancho de las eras y se le ingresó un valor de 8 y el número de eras se ingresó un valor de 2 (Figura 35).

Figura 35. Eras de secado



Datos de diseño de las eras de secado

Distribución de capas en m: 0.2

Número de eras: 2

Ancho de cada era en m: 8

Producción de lodo seco en L/hab*día: 0.1

Edad de lodos en días: 30

Ver resultado de las eras

Al ingresar más de una era el programa nos advierte que el área superficial será por era individual (Figura 36) y el resultado de las eras se presentan en la figura 37.

Figura 36. Advertencia del área superficial

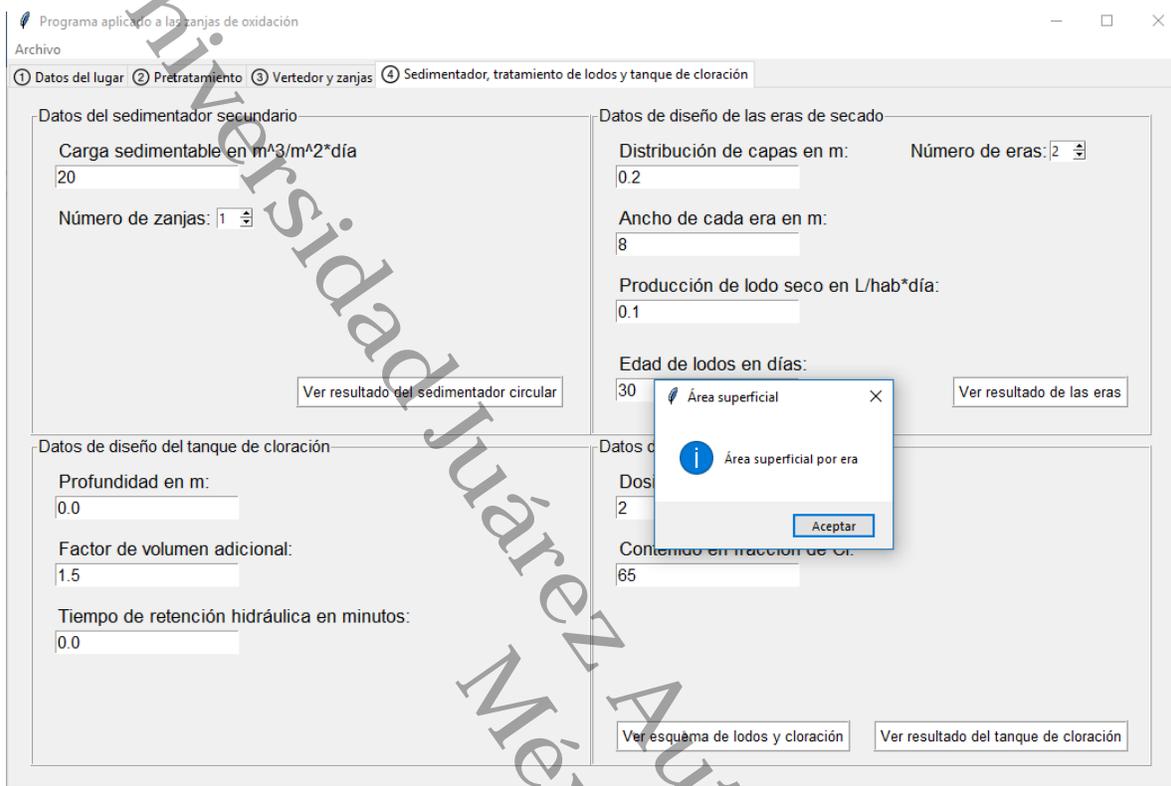
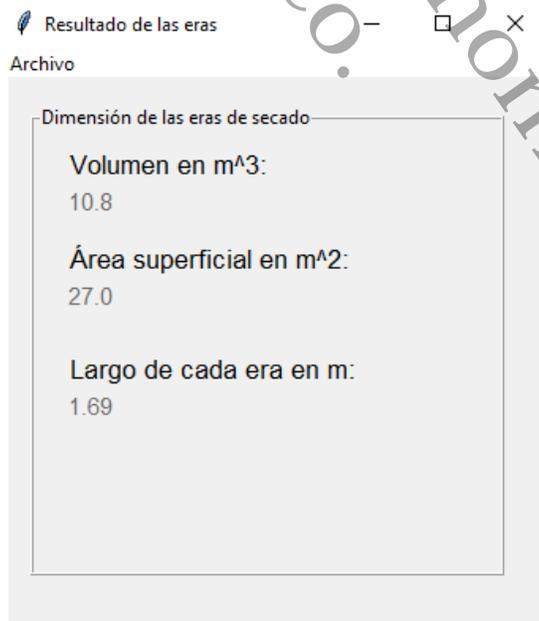


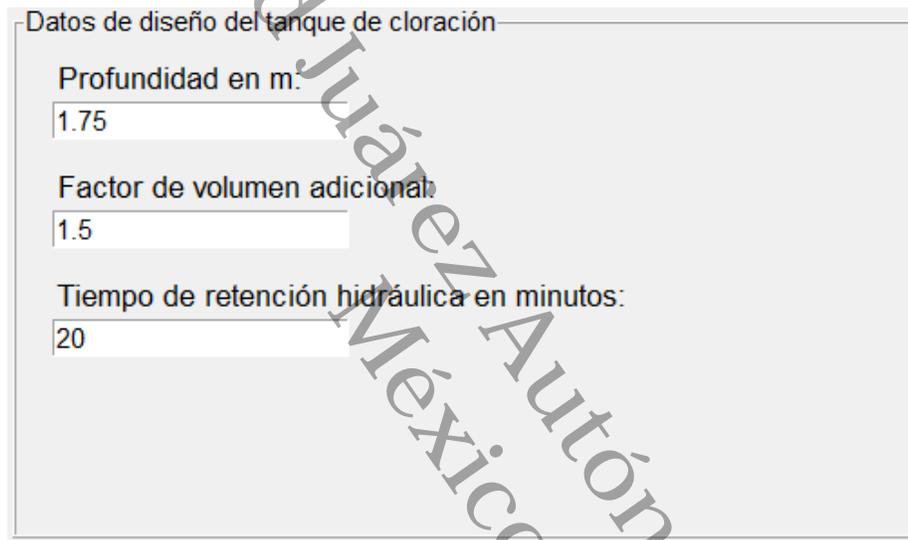
Figura 37. Resultados de las eras de secado



Tanque de cloración

El marco "Datos de diseño del tanque de cloración" solicita al usuario el ingreso de la profundidad y el tiempo de retención hidráulico, el factor de volumen adicional se muestra por defecto con un valor de 1.5. Se le ingresó un valor de 1.75 a la profundidad y al tiempo de retención hidráulico se le ingresó un valor de 20 minutos (Figura 38).

Figura 38. Datos del diseño del tanque de cloración



Datos de diseño del tanque de cloración

Profundidad en m.	1.75
Factor de volumen adicional:	1.5
Tiempo de retención hidráulica en minutos:	20

El siguiente marco "datos de la cloración del tanque" presenta por defecto la dosis del hipoclorito con un valor de 2 g/m³ y el contenido de fracción de cloro de 65% (Figura 39) al igual que en las pestañas anteriores el usuario puede desplegar un esquema para guiarse (Figura 40).

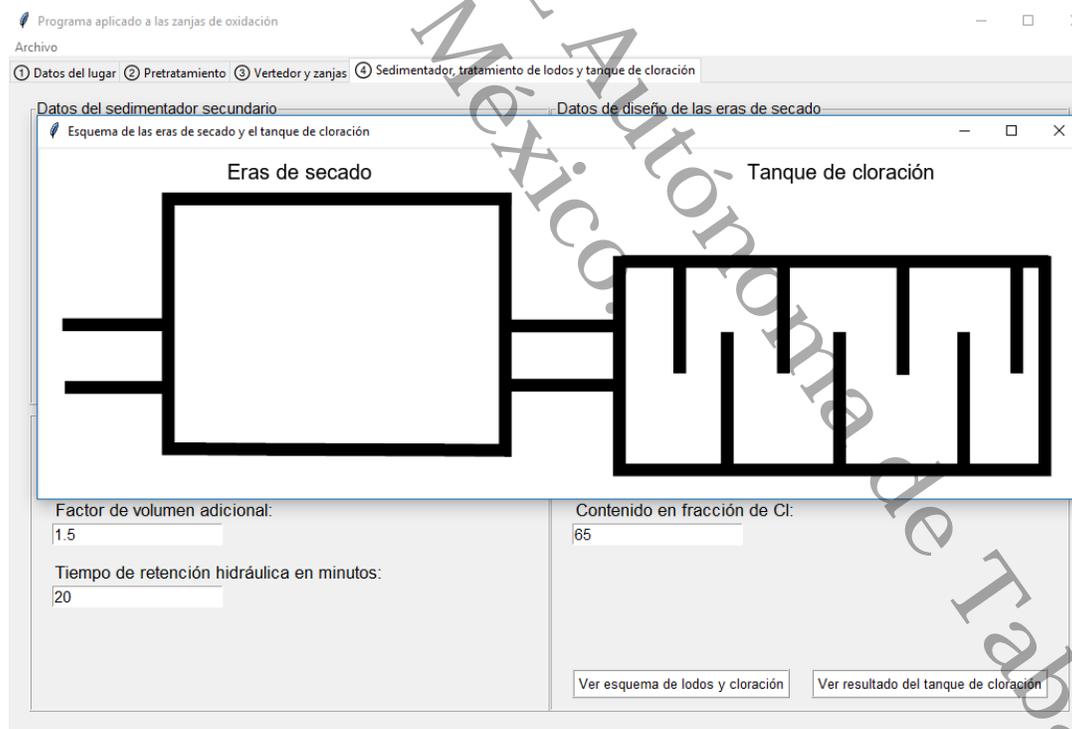
Figura 39. Datos de la cloración del tanque

Datos de la cloración en el tanque

Dosis de ClO⁻ en g/m³:

Contenido en fracción de Cl:

Figura 40. Esquema de tratamiento de lodos y cloración



Los resultados del tanque de cloración se muestran en la figura 41, al guardar estos datos, aparece un mensaje que señala que el diseño ha terminado con éxito y se puede ver en la carpeta donde está el programa (Figura 42).

Figura 41. Resultados del tanque de cloración

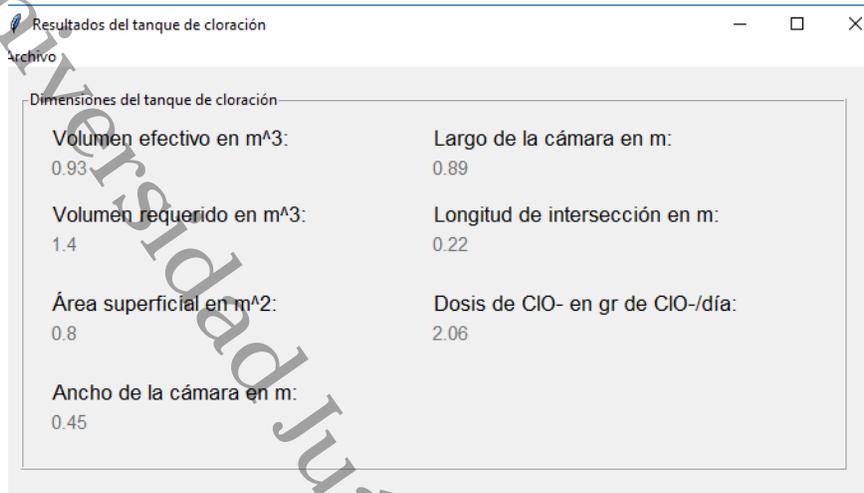
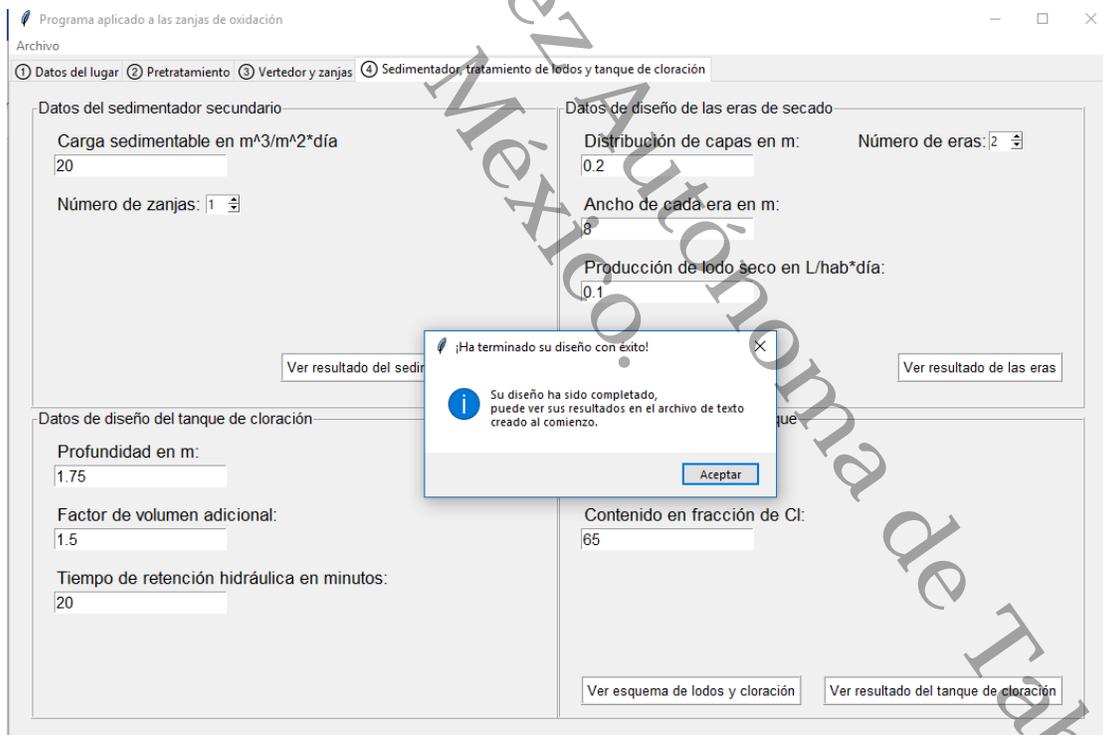


Figura 42. Mensaje de diseño terminado exitosamente



Una vez concluido esto, ya aparece el archivo de texto en la carpeta donde está el programa, este se puede exportar a Excel para usar estos datos a conveniencia del usuario.

Resultados de la encuesta hecha a posibles usuarios

La encuesta realizada a los usuarios constaba de las siguientes preguntas:

- ¿El software es fácil de usar?
- ¿La secuencia es lógica?
- ¿Está bien distribuida la información por marco?
- ¿El tamaño de letra es el adecuado?
- ¿Se observan bien los resultados?
- ¿Te parece eficiente el programa?
- Sugerencias

Se mostrarán las respuestas de las 14 personas que hicieron la encuesta por pregunta (Figura 43, figura 44, figura 45, figura 48, figura 49 y figura 50)

Figura 43. Gráfico de las respuestas de la primera pregunta.

¿El software es fácil de usar?

14 respuestas

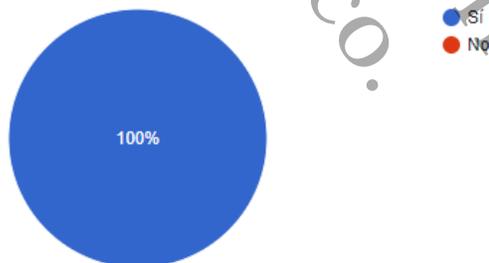


Figura 44. Gráfico de las respuestas de la segunda pregunta

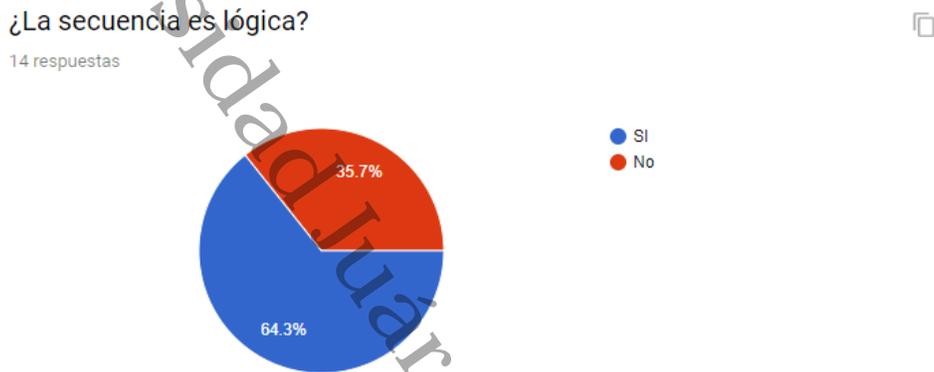


Figura 45. Gráfico de las respuestas de la tercer pregunta



Figura 46. Gráfico de las respuestas de la cuarta pregunta

¿Se aprecian correctamente los resultados?

14 respuestas

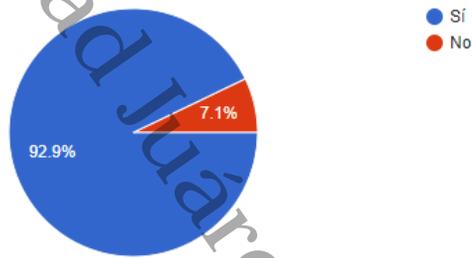


Figura 47. Gráfico de las respuestas de la quinta pregunta

¿Te parece eficiente el software?

14 respuestas



Figura 48. Sugerencias de los posibles usuarios

¿Tiene alguna otra sugerencia?

14 respuestas

- Modificar interfaz, tamaños de letra, enumerar los recuadros grandes para llevar un orden lógico.
- Al momento de seleccionar para colocar los números no se quita el 0 automáticamente
- Al finalizar el diseño de la planta sería interesante que los datos se pudieran descargar como en una base de datos.
- Poner en el botón de ayuda los rangos de población que sugieren
- No, me pareció muy útil
- No
- Modificar el interfaz y los colores
- Mejorar la interfaz gráfica
- Ninguna
- Cambiar un poco el diseño en cuanto a color y organización pues parece un poco simple
- Poner al principio del programa un instructivo de la secuencia de llenado
- El diseño es muy cuadrado

Discusión

Rojas Suazo (2012) señala que, frente a los procesos de lodos activados convencionales y lagunas aireadas, las zanjas de oxidación pueden alcanzar una remoción superior con valores de DBO y SS de mayores del 90%; así mismo, la remoción de nitrógeno es excelente y la remoción de fósforo es buena, los otros procesos mencionados no cuentan con remoción de estos nutrientes. También demuestra que costo anual total de este tratamiento es menor a los tratamientos con los que se le compara.

Los resultados obtenidos del programa, aún no se pudieron comparar con las dimensiones reales de las plantas evaluadas, debido el cambio de administración del SAS (Sistema de Agua y Saneamiento), por lo que no se permitió la visita a estas y no se pudieron tomar las dimensiones reales (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de dimensiones de la planta frente a las dimensiones obtenidas con el software

Dimensiones de la zanja orbal del Fraccionamiento Valle Marino, Centro, Tabasco (obtenidas del Google Earth).		Dimensiones de la zanja orbal obtenidas por PAZOX	
<i>Dimensiones</i>	<i>Valores encontrados</i>	<i>Dimensiones</i>	<i>Valores obtenidos</i>
<i>Radio</i>	14 m	<i>Radio</i>	14 m
<i>Área superficial</i>	164 m ²	<i>Área superficial</i>	153.93 m ²

La planta del fraccionamiento Valle Marino, no está operando de manera adecuada, está siendo utilizada como cárcamo de almacenamiento disminuyendo su eficiencia. Si se pudiera validar con este programa, se podría corregir su eficiencia y su diseño.

Se espera que en siguientes versiones del programa se puedan corregir errores de la interfaz gráfica, al igual que poder mostrar los diseños o poder exportar los datos a AutoCad o a algún programa de diseño arquitectónico.

Se debe seguir apostando por las herramientas informáticas para hacer la ingeniería ambiental más eficiente y para poder retroalimentar nuestras habilidades y aptitudes.

Conclusión

Los avances tecnológicos que se presentan día con día, dictaminan la evolución de las herramientas que se necesitan para obtener resultados eficaces, eficientes y rápidos. Bajo esta mentalidad se desarrolló Pazox.

A pesar de la limitante de no tener datos reales de caracterización, ni poder contar con las dimensiones reales de las plantas evaluadas, el software cumple con su cometido a como fue dispuesto.

Los resultados obtenidos indican que, al ingresar datos de caracterización del agua aun siendo estos los más usuales y encontrados en literatura, las dimensiones del tren de tratamiento son correctas.

Esta primera fase del programa es una base sólida en la que se pueden seguir desarrollando más conceptos e integrarlos a este.

Una ventaja de este programa es diseñar un tren de tratamiento con proceso zanja de oxidación en minutos, reduciendo por mucho el tiempo que le tomaría a un diseñador experimentado hacerlo. A los diseñadores poco experimentados, a los que se les dificulta el dimensionamiento de algún proceso, el software les puede ayudar a obtener resultados con pocos datos ingresados. También puede servir para la verificación y evaluación de las dimensiones de alguno o todos los procesos del tren de tratamiento en un caso real.

Aprender programación y aplicarla a la ingeniería ambiental nos da un enfoque distinto de las soluciones a algún problema. Nos invita a desarrollar herramientas más competentes, nos permite tomar como punto de referencia no sólo el criterio de una persona.

Referencias bibliográficas

Abusan A. (2001). *Development of a benchmarking methodology for evaluation oxidation ditch control strategies*. (Tesis de doctorado, trabajo publicado). Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

Chaudhary, B. (2015). *Tkinter GUI application development blueprints*. Estados Unidos. Editorial Packt.

CONAGUA (2012). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: sistemas alternativos de alcantarillado sanitario*. México. CONAGUA.

CONAGUA (2012). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: estudios técnicos para proyectos de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño estructural*. México. CONAGUA.

CONAGUA (2012). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Pretratamiento y tratamiento primario*. México. CONAGUA.

CONAGUA (2012). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Lagunas de estabilización*. México. CONAGUA.

CONAGUA (2012). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Procesos de oxidación bioquímica con biomasa suspendida*. México. CONAGUA.

CONAGUA (2012). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Tratamiento y disposición de lodos*. México. CONAGUA.

CONAGUA (2012). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Lodos activados*. México. CONAGUA.

CONAGUA. (2015). *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y tratamiento de aguas residuales en operación*. México: CONAGUA.

CONAGUA. (2016). *Atlas del agua en México 2016*. México. CONAGUA.

EPA. (1992). *Evaluation of oxidation ditches for nutrient removal*. Estados Unidos: EPA.

Escalante et al. (2008). *El reusó del agua residual tratada en México. Seminario internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales*, 23, (236). 230-236.

García Sánchez, M., et al (2015). Derecho al agua y calidad de vida. RIDE. Revista iberoamericana para la investigación y desarrollo educativo, 6 (11).

González, J.P. & Gómez, K.A. Optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Bojacá-Cundinamarca. *Programa de ingeniería civil, facultad de ingeniería, Universidad Católica de Colombia*.

Lahera Ramón, V. (2010). Infraestructura sustentable: Las plantas de tratamiento de aguas residuales. *Quivera. Revista de estudios territoriales*, 12 (2), 58-69.

Metcalf & Eddy, Tchobanoglous. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. (3ra edición) España: McGraw-Hill.

Pérez Montiel, H (2012). *Desarrollo de un software para la simulación de sistemas de tratamientos por lodos activados a partir del modelo ASM1*. (Tesis para obtener el título de ingeniero ambiental no publicada). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, división académica de ciencias biológicas. Centro, Tabasco, México.

Pérez, A. V. (2010) *Selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales para la localidad de Santa Bárbara usando la metodología de decisión multicriterio AHP*. (Tesis para título de ingeniero civil no publicada). Universidad de Chile, facultad de ciencias físicas y matemáticas, departamento de ingeniería civil. Santiago de Chile.

Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. (1ra edición) España: editorial Reverté.

Rodríguez Rodríguez, E. & Martínez Rodríguez, J. L., (2016). Análisis de zanjas de oxidación como tecnología de remoción biológica de nutrientes en el estado de Tabasco. *Kuxulab'*, 22, (41). 31-41

Rojas, R. (2002). *Sistema de tratamientos de aguas residuales*. Centro panamericano de ingeniería y ciencias del ambiente.

Rojas Suazo, H. O. (2012). *El sistema de zanjas de oxidación como una alternativa de tratamiento biológico en México*. (Tesis para título de ingeniero civil). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. México.

Romero, M. (2010) Proceso de eutrofización de afluentes y su prevención por medio de tratamiento de efluentes. *Revista de Ingeniería Primero*, 17 (74).

Seung-Hyun, K., & Bauman, R. (1997). Investigation of chemical phosphate removal from an oxidation ditch by field evaluation. *Environ. Eng. Res.* 2 (9) 207- 216.

Torres, P. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domesticas en países en desarrollo. *EIA* (18):115-129

Valdéz, C. E., & Vázquez, A. B. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales*. (1ra edición) México: Fundación ICA.

Yengejeh, Z. J. R. *et al.* (2014). Cost/benefit evaluation of wastewater treatment plant types (SRB, MLE, oxidation ditches), case of study: Khouzetan, Iran. *Bulletin of environmental, pharmacology and life science*, 4 (5). 55-60.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.