

Diseño Planta Tratamiento Aguas Residuales Corporación de Servicios Educativos de Yabucoa (COSEY)

*Randy J. Espinosa
Civil Engineering
Aluisio O. Pimenta, Ph. D.
Civil Engineering Department
Polytechnic University of Puerto Rico*

Abstracto — *Este proyecto tiene por finalidad desarrño para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Corporación de Servicios Educativos de Yabucoa (COSEY). Este complejo educativo atenderá los niveles desde preescolar hasta el nivel superior, para una capacidad de aproximadamente mil (1,000) estudiantes. Estas iniciativas son con la intención de tartar todas las aguas residuales producidas por el complejo educativo, logrando convertir el mismo en un proyecto verde que cumpla con los parámetros de auto sustentación y en especial par la conervación de agua potable. Además de cumplir con los requerimientos solicitados por la Junta de Calidad Ambiental (JCA) así como los requerimientos solicitados por la Administración de Reglamentos y Permisos (ARPE) y las regulaciones establecidas por la EPA.*

Palabras Claves — *Aguas residuales, tratamiento secundario, sedimentación, DBO y DQO.*

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La Corporación de Servicios Educativos de Yabucoa (COSEY) es una institución sin fines de lucro que posee en el Municipio de Yabucoa con un predio de terreno con una cabida aproximada de 37.6378 cuerdas (147,931.53 metros cuadrados) que esta localizado al este de la via de rodaje de la carretera estatal PR-53 en la Comunidad Comunas entre los Barrios Playa y Aguacate del Municipio de Yabucoa.

En la actualidad se propone la construcción de un complejo o ciudad educativa (COSEY), el cual contará con la construcción de una planta de

tratamiento de aguas residuales por su gran capacidad ocupacional.

Como parte de este proyecto se contemplan los siguientes espacios:

- Centro de Actividades y Oficinas Administrativas (1,411.91 M2.= 0.96%).
- Escuela Elemental y Centro Preescolar (2,881.59 M2 = 1.95%).
- Escuela Secundaria, Laboratorios, Salón Multiusos y Cafeteria (1,824.41 M2 = 1.23%).
- Centro de Desarrollo Deportivo (792.38 M2 = 0.54%).
- Biblioteca y Centro Cibernetico (541.92 M2 =0.37%).
- Hospedaje para Estudiantes y Profesionales jubilados (590.65 M2 = 0.4(010)).
- Anfiteatro al Aire Libre (668.38 M2 = 0.45%).
- Estación de Reciclaje (63.00 M2 =0.04%).
- Areas verdes y área para cultivo (115,169.21 M2 = 77.98%).
- Sistema Vial (10,908.64 M2 = 7.38%).
- Estacionamientos (398 unidades) (11,986.15 M2 = 8.12%).

Las aguas residuales han sido tratadas desde principios del Siglo XX y la tecnología utilizada ha ido avanzando, de modo que en la actualidad podemos tratar practicamente todo tipo de ellas. Hoy en día, el proceso de tratamiento de aguas residuales tiene un menor impacto económico, en algunos casos 100% deducible por generar biocombustible, su proceso y sistema de control es más simple y resulta una auténtica inversión para el usuario y el ambiente.

Las aguas residuales son aquellas aguas contaminadas que han perdido su calidad como resultado de su uso en diversas actividades. Se

trata de aguas con un alto contenido de elementos contaminantes, que pueden afectar aquellos sistemas a los que son vertidos. En su mayoría son residuos líquidos provenientes de tocadores, baños, Regaderas o duchas, cocinas, etc; que son desechados a las alcantarillas, atarjeas o cloacas. En muchas áreas, las aguas residuales también incluyen algunas aguas sucias provenientes de industrias y comercios.

El agua casera drenada se divide en aguas grises y aguas negras que son las más comunes en el mundo desarrollado, el agua negra es la que procede de inodoros y urinarios y el agua gris, procedente de piletas y bañeras, esta última puede ser usada en riego de plantas y reciclada en el uso de inodoros, donde se transforma en agua negra. Muchas aguas residuales también incluyen aguas superficiales procedentes de las lluvias. Las aguas residuales municipales contienen descargas residenciales, comerciales e industriales, y pueden incluir el aporte de precipitaciones pluviales cuando se usa tuberías de uso mixto pluvial - residual.

Para el diseño de una planta de tratamiento de aguas usadas se tienen que tener en cuenta los siguientes objetivos:

- Evaluar las condiciones y los niveles de contaminación en las aguas que se producen por las actividades diarias del hombre.
- Tratar de evitar la contaminación en los efluentes donde son descargadas.
- Hacer recomendaciones a los procesos de operación, con los cuales se evitarían problemas futuros de manera que estas instalaciones puedan operar conforme al cumplimiento de las leyes y regulaciones ambientales establecidas.

Teniendo en cuenta la importancia de la calidad de las aguas residuales tratadas, este proyecto de investigación tendrá como meta desarrollar el diseño de una planta de tratamiento de aguas usadas, de los procesos y todos los parámetros de operación que afectan la misma.

OBJETIVO PRINCIPAL

Establecer un diseño de máxima eficiencia en el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas usadas de la ciudad educativa (COSEY), al menor costo posible y lograr que cumpla al máximo con las regulaciones establecidas por la ley.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una planta de bajo costo operacional y que requiera poca mano de obra y mantenimiento.
- Diseñar equipos óptimos de infraestructuras y combinar de la manera más eficiente 10 equipos utilizados en el proceso de tratamiento
- Eliminar el impacto ambiental y los niveles de contaminación en el cuerpo receptor del agua tratada.
- Establecer un programa de monitoreo continuo en los controles de la calidad del agua.

Los objetivos de una P.T.A.R. son:

- Eliminación de residuos, aceites, grasas, flotantes, arenas, etc. y evacuación a punto de destino final adecuado.
- Eliminación de materias decantables orgánicas o inorgánicas.
- Eliminación de la materia orgánica.
- Eliminación de compuestos amoniacales y que contengan fósforo (en aquellas que viertan a zonas sensibles).
- Transformar los residuos retenidos en lodos estables y que estos sean correctamente dispuestos.

PARÁMETRO DE CALIDAD DEL AGUA

Los métodos analíticos para contaminantes orgánicos se clasifican en dos grupos:

Grupo 1: Métodos de Evaluación para la demanda de oxígeno:

1. Demanda Teórica de Oxígeno (DteO).
2. Demanda Química de Oxígeno (DQO), método de oxidación al dicromato; ensayo de oxidación al permanganato; ensayos de

evaluación rápida de DQO; métodos instrumentales de análisis de DQO.

3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), métodos de dilución, métodos manométricos.
4. Demanda total de Oxígeno (DTO).

Grupo 2: Métodos para evaluación de parámetros de contenido en carbono:

1. Carbono orgánico teórico (COTe).
2. Carbono orgánico total (COT), método de oxidación húmeda; determinación con analizadores de carbono.

Las determinaciones analíticas que siempre se usan en un P.T.A.R. para conocer el grado de calidad de su tratamiento son, entre otras^[3]:

- Sólidos en suspensión o materias en suspensión.
- DBO₅ ((Demanda biológica o bioquímica del oxígeno).
- DQO (Demanda Química de Oxígeno).
- Nitrógeno.
- Fósforo.

La P.T. A. R. tiene dos fases esenciales de tratamiento, que son:

1. **Fase tratamiento de Agua:** es el agua residual que entra a la P.T.A.R. y pasa por cada uno de los procesos y equipos de tratamientos hasta su vertido al medio receptor.
2. **Fase tratamiento de Lodo:** son los subproductos que resultan del tratamiento de las aguas residuales y que al final éstas irán a un lecho de secado y luego llevados a un vertedero controlado o se utilizarán en algún proceso que podría ser como fertilizante.

CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

Las aguas residuales domésticas se componen fundamentalmente, en su carga contaminante, de materia orgánica en forma soluble o coloidal y de sólidos en suspensión. Según Eckenfelder, los datos obtenidos en una campaña que incluía 73

ciudades en 27 estados de EE.UU, daban como resultado los valores medios siguientes [1]:

- Caudal: 200 a 300 l/hab.día.
- DBO₅ 90 g/hab.día.
- Sólidos en suspensión: 100 g/hab.día.

Para un complejo de mil habitantes, como el caso de COSEY los valores serían:

- Caudal: 500 M³/día.
- DBO₅ 180 Kg/ día.
- Sólidos en suspensión: 200 Kg/día.

Teniendo en cuenta que la mayoría de las aguas residuales contienen concentraciones muy pequeñas de materias solubles (y/o insolubles), la densidad del agua residual se toma como igual a la del agua pura, o sea, 1 kg/litro. En consecuencia, al establecer las concentraciones en ml/litro, puede decirse que son equivalentes a partes por millón (ppm).

ETAPAS DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL

Se puede decir que el proceso de tratamiento de las aguas residuales de COSEY consta de las siguientes etapas^[5]:

- **Tratamiento Primario:** Consiste básicamente en una etapa preliminar como lo es la medición del caudal y posteriormente se procede a retirar materiales flotantes o pesados que comúnmente vienen en las aguas residuales y que disminuyen la eficiencia del tratamiento tales como plásticos, papeles, arenas y demás sólidos no orgánicos, que solo ocasionan daños al proceso. Los residuos que realmente interesan para el proceso son los de tipo orgánico (heces fecales, residuos de alimentos, etc), en esta fase se utilizará:
 - Canaleta Parshall.
 - Desarenado.
 - Cribado.
 - Tanque Imhoff modificado (Proceso anaerobio).

- **Tratamiento Secundario:** Consiste en la biodegradación de la materia orgánica a través de la combinación de procesos anaerobios y aerobios para que se generen las bacterias responsables de realizar la descomposición y asimilación de los nutrientes provenientes del agua residual y consecuentemente la reducción de la contaminación (medida como DBO y DQO). Estos son:
 - Lagunas Primarias.
 - Lagunas Secundarias.
- **Tratamiento Terciario:** En el tratamiento terciario de aguas negras de desecho se pretende que el agua sea lo más pura posible antes de ser arrojadas al medio ambiente. Consiste en acondicionar el agua para las condiciones ideales para que se desarrolle la vida acuática superior (peces, tortugas, ranas, etc) y pueda ser aprovechada por el hombre. Utilizaremos:
 - Desinfección con Cloro.
- **Tratamiento de Iodos:** Consiste en acondicionar la recepción, filtrado, secado y acondicionamiento de los lodos con el fin de evitar que éstos contaminen de nuevo el agua depurada o la fuente hídrica en forma directa o indirecta. A través de este tratamiento se hace posible el aprovechamiento de los lodos para la agricultura. En nuestra planta utilizaremos:
 - Lecho de secado.

DESCRIPCIÓN DE LA P.T.A.R.

En la Figura 1 se presenta la configuración final de la planta de tratamiento COSEY.

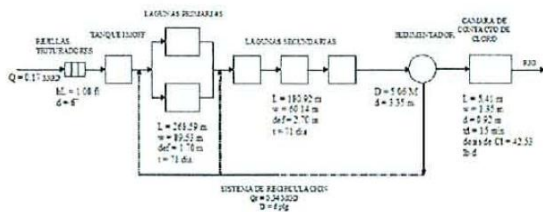


Figure 1

Flujograma de la planta de tratamiento COSEY

Canaleta Parshall

El objetivo de la Canaleta Parshall es el de servir como estructura de aforo, es decir, permitir medir el caudal de agua residual que ingresa diariamente a la P.T.A.R. con el fin poder llevar una medición y a su vez un mejor control de los procesos. La canaleta Parshall está constituida por tres partes fundamentales que son: la entrada, la garganta y la salida. La entrada está formada por dos paredes verticales simétricas y convergentes, el fondo es inclinado con pendiente ascendente 4:1. Ver Figura 2.

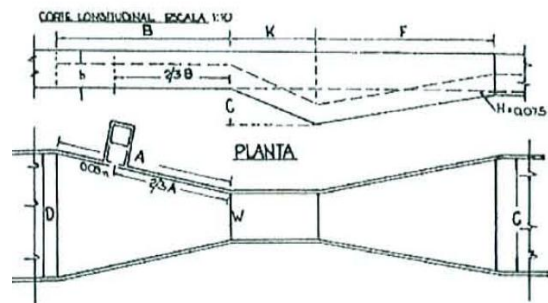


Figure 2

Esquema general de una Canaleta Parshall

La garganta está formada por dos paredes verticales paralelas, el fondo es inclinado con una pendiente descendente 2.67:1. la distancia de la sección de la garganta determina el tamaño del medidor y se designa por W. La salida está formada por dos paredes verticales divergentes y el fondo es ligeramente inclinado con una pendiente ascendente de 17.9:1. En la canaleta "Parshall" se pueden presentar dos tipos de flujo:

- Un flujo a descarga libre para 10 cual es solo necesario medir la carga H_a para determinar el caudal.
- Un flujo en que se presenta la sumersión o ahogamiento para el cual se toman las cargas H_a y H_b .

Desarenador con Cribado

Los procesos de desarenación y cribado son dos de las principales etapas del tratamiento preliminar en el tratamiento de aguas residuales. Consiste básicamente en retener y/o separar de ellas, todos los cuerpos o constituyentes gruesos o

de gran tamaño que pueden obstruir o dañar el funcionamiento de bombas, tuberías o que generan daños al proceso, o a las unidades de tratamiento.

Por economía se ha elegido una unidad que realice las dos funciones, es decir, un desarenador con cribado.

La función del desarenador es la separación de los sólidos inorgánicos tales como arenas, grava y objetos metálicos, entre otros, aprovechando el efecto de la gravedad sobre los cuerpos pesados, los cuales tienden a depositarse cuando el agua fluye a velocidades muy lentas.

Los desarenadores son canales en los cuales se transporta el agua residual a una velocidad de 0.3 m/seg, para permitir la sedimentación de arenas y todas las partículas de peso y diámetro considerablemente alto, sin que se logre depositar la materia orgánica presente en el agua. Este pretratamiento consta de dos canales de concreto reforzado con paredes y pisos de 10 cm de espesor y un área de 3.0 m. x 1.20 m y una profundidad de 1.0 m.

Se ha seleccionado dos desarenadores de flujo horizontal equipado con cuatro divisiones en el tanque las cuales permiten una mayor retención de los sólidos sedimentables (arenas, piedras, pequeños objetos metálicos, etc) con el fin de que el agua que ingrese a la P.T.A.R. mantenga únicamente los sólidos suspendidos, que es donde se encuentra la materia orgánica. En la parte superior de cada división del desarenador se encuentran las cribas o mallas en acero, las cuales tienen como función retener algunos materiales como pelos, trapos, papeles, hojas y semillas de frutos y otros materiales que son comunes en las aguas residuales domésticas urbanas.

La función del cribado es la separación de grandes sólidos inorgánicos u orgánicos que flotan o están suspendidos, tales como trozos de madera, vidrio, tela, papel, plástico, semillas de frutas, o en general basura, que va a deteriorar el proceso biológico al cual va a ser sometida el agua en su primer proceso, u obstrucción de tuberías y daños en las bombas.

El cribado está formado por cribas (mallas, cedazos o cernedores tipo parrilla) que están formadas por barras paralelas, espaciadas entre 0.5 cm y 5.0 cm de acuerdo con el tamaño del material que se desea retirar del agua residual, las cuales se instalan con una inclinación de 45° con la vertical, para proporcionar una fácil limpieza manual. Para el caso de la P.T.A.R. de COSEY se ha dispuesto de un sistema de cribado que consta básicamente de tres cribas por unidad, las cuales se colocan en serie y se encargan de retener todos aquellos objetos que de una u otra forma vienen dentro de las aguas residuales. Estas tres cribas o tamices están dispuestas a una distancia de 75 cm entre cada una de ellas, todas en un ángulo 45°. Cada tamiz siguiente presenta una reducción interespacial en su enrejado, 2.0 cm, 1.0 cm y 0.5 cm respectivamente, con el fin de permitir retener diferentes tamaños de partículas a medida que el agua pasa a través del desarenador. Ver Figura 3.

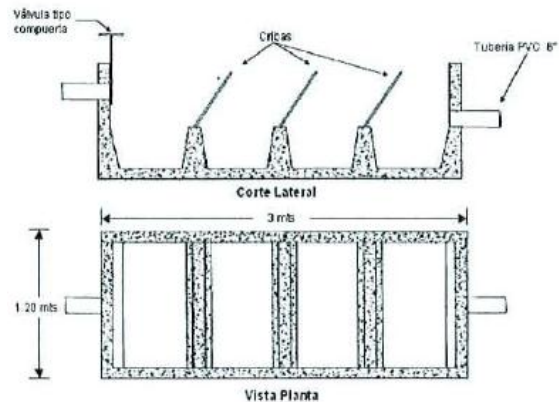


Figura 3
Desarenador con cribado o rejillas

Tanque Imhoff Modificado

En Puerto Rico las aguas residuales domésticas tienen temperaturas superiores a 15° C durante los 12 meses del año, lo que hace posible utilizar un proceso anaerobio como alternativa de tratamiento, el cual no requiere del uso de energía eléctrica, lo que presenta una alta economía en la operación de la planta. El tanque Imhoff modificado propuesto para la P.T.A.R. de COSEY consiste en un tanque anaerobio se pretende lograr la biodigestión de la material orgánica con eficiencias de remoción

comprendidos entre el 60% y el 70% de la DQO y DBO, en función de la concentración inicial del agua residual.

Siendo conscientes de que con este sólo proceso no se alcanza a lograr la eficiencia requerida por la Junta de Calidad Ambiental (JCA), los parámetros y regulaciones establecidos por la EPA, completaremos el tratamiento de las aguas con otros procesos.

Los tanques Imhoff, son también tanques de doble propósito, debido a que en su cámara superior (A) permite la sedimentación de las aguas negras, mientras que en su cámara inferior (B) permite la digestión de la materia orgánica (recibida por gravedad) después de un tiempo de permanencia del agua bajo condiciones anaerobias y velocidades muy lentas del agua. Ver Figura 4.

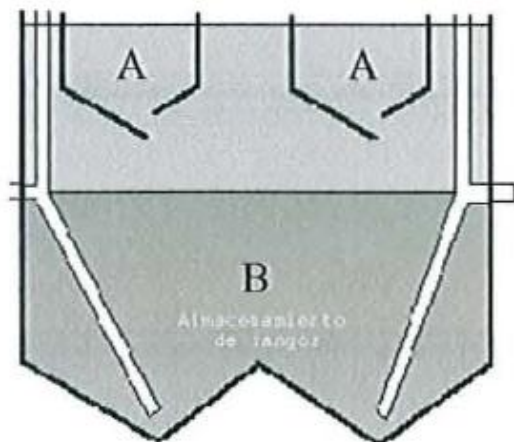


Figura 4
Sección tanque Imhoff

Laguna Facultativa

Estas lagunas pueden ser de dos tipos: laguna facultativa primaria que reciben aguas residuales crudas y laguna facultativa secundaria que reciben aguas sedimentadas de la etapa primaria (usualmente el efluente de una laguna anaerobia). Las lagunas facultativas son diseñadas para remoción de DBO₅ con base en una baja carga orgánica superficial que permita el desarrollo de una población alga activa. De esta forma, las algas generan el oxígeno requerido por las bacterias heterotróficas para remover la DBO₅ soluble. Una población saludable de algas le confiere un color

verde oscuro a la columna de agua. Las lagunas facultativas pueden tomarse ocasionalmente rojas o rosadas debido a la presencia de bacterias fotosintéticas púrpuras oxidantes del sulfuro [4]. Este cambio en la ecología de las lagunas facultativas ocurre debido a ligeras sobrecargas. De esta forma, el cambio de coloración en laguna facultativa es un buen indicador cualitativo del funcionamiento del proceso de degradación. La concentración de algas en una laguna facultativa con funcionamiento óptimo depende de la carga orgánica y de la temperatura, pero frecuentemente se encuentra entre 500 a 2000 µg clorofila. La actividad fotosintética de las algas ocasiona una variación diurna de la concentración de oxígeno disuelto y los valores de pH. Variables como la velocidad del viento tienen efectos importantes en el comportamiento de la laguna facultativa, ya que se genera mezcla del contenido de la laguna. Un buen grado de mezcla produce una distribución uniforme de DBO₅, oxígeno disuelto, bacterias y algas, y en consecuencia una mejor estabilización del agua residual.

Sedimentador

La desinfección del agua tiene por finalidad la eliminación de los microorganismos patógenos contenidos en el agua que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento del agua.

La cloración es una operación química utilizada para la desinfección del agua y se utiliza tanto en plantas de potabilización como en plantas depuradoras antes del vertido final. Igualmente, es de aplicación en los procesos de reutilización de aguas, cada vez más importantes.

La finalidad principal de la cloración es destruir las bacterias por la acción germicida del cloro.

La demanda de cloro de un agua determinada, es la cantidad de cloro necesaria para reaccionar con la materia orgánica y las demás sustancias que contenga el agua y, equivale por tanto, a la diferencia entre la cantidad de cloro que se haya añadido y la cantidad de cloro residual que está presente después de cierto tiempo de contacto.

El objetivo principal de la cámara de contacto es el suministrar el tiempo de detención necesario para que los compuestos de cloro reduzcan las bacterias a niveles aceptables.

Lecho de Seco

Los lechos, eras o canchas de secado son el método de deshidratación de lodo más empleado. Los lechos de secado se suelen utilizar, normalmente, para la deshidratación de lodos digeridos. Una vez seco, el lodo se retira y se evacúa a vertederos controlados o se utiliza como acondicionador de suelos.

Las principales ventajas son su bajo costo, el escaso mantenimiento que precisan, y el elevado contenido en sólidos del product final.

DATOS PARA EL DISEÑO DE METEOROLOGÍA

Una persona que vive en la ciudad utiliza, en promedio, 250 litros de agua al día^[2]:

- $Q_{\text{día}} = 250 \text{ litros} / \text{persona} / \text{día}$ caudal medio por persona y días (según tabla).
- $Q_t = 0.17 \text{ MGD}$.
- $N = 1,000$ Población estimada de personas para este proyecto.
- $\Delta N_f - 15 = 2000$ personas.
- $\text{DBO}_5 = 180 \text{ Kg} / \text{día}$.
- Sólidos en suspension = $200 \text{ Kg} / \text{día}$

Tabla 1
Consumo promedio de agua de habitantes/día

En la ducha (cinco minutos)	100 L
En la descarga del baño	50 L
En lavado de ropa	30 L
En lavado de loza	27 L
En el jardín	18 L
En lavar y cocinar alimentos	15 L
Otros usos (como beber o lavarse las manos)	10L

Para determinar la población de este diseño se utilizó un método aritmético, donde se tomó como referencia al censo del año 2000 de Puerto Rico, donde se present un crecimiento de un 3% anual en la población en los últimos 10 años. Luego de realizar estos computes obtuvimos una población

proyectada al año 2025 de 2,000 personas para el complejo educativo COSEY, basado en un crecimiento constante de la población. Basado en el consumo de una población de 2,000 habitantes y un consumo promedio de 250 L/hab/día, tomando como factor de seguridad un 30% de sobrecarga de la línea el caudal promedio de entrada a la planta sera de 0.17 MGD. Ver Figura 1.

La PTAR fue diseñada con un canal de acceso tipo "Parshall" este controlará adecuadamente la velocidad del agua en la entrada, para que luego la misma pase a través de las parillas. En este diseño se contempla la utilización de parillas de limpieza mecánica, ya que esto reduce el trabajo manual que se necesita para limpiar las parrillas, y la remoción de los desperdicios. Luego se instalará el tanque Imhoff que según los calculos de diseño tundra un volume de 702 m^3 , teniendo una longitud de 14.18m por 9.87m de ancho y una profundidad de 1.60 m. En este tanque se iniciara el proceso de clarificación y a la misma vez el tratamiento anaerobio en el cual se pretende lograr parte de la biodigestión de la material orgánica logrando tener eficiencias de remoción comprendidos entre el 60% y el 70% de la DQO y DBO.

Para completar el tratamiento primario, se diseñaron dos lagunas en paralelo cada unas de 270m de largo por 90m de ancho y una profundidad de 1.70m respectivamente; el flujo continuo del agua desde la entrada de estas lagunas hasta la salida final de la fase primaria tendrá un tiempo de detencion de 71 días para completar esta etapa de tratamiento.

Luego para continuar el tratamiecnto biológico, el agua pasara a un sistema de tres lagunas facultativas alineadas en serie donde al pasar por este proceso el agua tendrá un tiempo de detención de otros 71 días cada una de estas lagunas tiene una longitud de 181 m por un aneho de 61 m y una profundidad de 2.70 m. Ver Tabla 4.

Luego de haber completado lodo e l proceso en las lagunas facultativa, el agua pasará por un sedimentador circular cuyas dimensiones calculadas fueron de 5.10m de diámetro por una

profundidad de 3.35 m. y con un tiempo de detención de 2.5 horas.

Una vez terminado este proceso el agua pasará a una cámara de contacto de cloro para completar el proceso de desinfección. Esta cámara según nuestros cálculos de diseño tendrá una longitud de 5.41 m por 1.35 m de ancho, con una profundidad de 0.92 m, el tiempo de detención en esta cámara de contacto será de unos 15 min, con una dosis de cloro de 42.53 lm/d.

Para completar nuestro proceso los lodos que se generen en el sedimentador serán recirculados por una tubería de seis pulgadas (6") hacia las entradas de las lagunas primarias y secundarias. Ver el esquema y las dimensiones de todo el proceso en la Figura 1.

RESULTADOS

Esta planta se diseñó para obtener una calidad de agua que no resulte perjudicar al medio ambiente, logrando reducir las cargas de contaminante a un 93%; esperando obtener valores de BDO₅ menores a 25mg/l y de los sólidos en suspensión menores a 15mg/l.

En las Tablas 3 y 4 se muestran los resultados del diseño de cada una de las fases y los componentes que integraran la planta de tratamiento para La Corporación de Servicios Educativos de Yabucoa (COSEY).

Table 3
Resultados de Diseños

Parte	Largo [m]	Ancho [m]	Prof. [m]	Tiempo [día]
Tanque Imhoff	19.75	9.87	1.80	0.70
Laguna Primaria	2.68.59	89.53	1.70	71
Laguna Secundaria	180.92	60.14	2.70	71
Cámara contacto de cloro	5.41	1.35	0.92	1.04 E-2

Tabla 4
Resultados de Diseño

Parte	Diámetro [m]	Profundidad [m]
Sedimentador	5.06	3.35

CONCLUSIONES

Los objetivos de un sistema de tratamiento de agua son: mejorar la salud, la economía y el desarrollo sin modificar el ambiente. Una solución tecnológica adecuada será aquella que cumple estos objetivos, con el mayor uso de recursos y de materiales locales, de fácil construcción y operación. Durante el estudio desarrollado, como profesional de la ingeniería civil logre como objetivo evaluar algunas alternativas que con el uso de criterios tecnológicos actuales, es posible diseñar, construir y operar plantas eficientes, sin la necesidad excesiva de equipos mecanizado de muy bajo costo y de elevada eficiencia técnica, capaces de producir agua de alta calidad superior a la exigida en las últimas normas establecidas por la EPA, lo cual redundará en plantas menos complicadas y, por ende, más económicas. Comprobé que los nuevos conceptos tecnológicos conducen a simplificación tanto de los procesos, como de su operación, haciéndolos también apropiados para países con bajo desarrollo industrial; y que el uso de nuevos criterios tecnológicos no están limitados ni por el tamaño de la planta ni por la calidad de agua.

Al finalizar este proyecto, nuestra planta de tratamiento de aguas residuales quedó conformada por las siguientes partes: una sección de rejillas y trituradores, seguido de un tanque Imhoff, luego por un par lagunas primarias en paralelo para completar una fase eficiente del tratamiento primario.

La segunda fase está compuesta por tres lagunas secundarias conectadas en serie y seguidas de un sedimentador y así de esta forma complementará el tratamiento secundario; para concluir las fases del tratamiento, se optó por la incorporación de una cámara de contacto de cloro antes de enviar el agua al efluente.

Concluida la labor investigativa, llegué a la conclusión de los criterios anteriores y a la misma vez de hacer una aportación significativa para el desarrollo del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para el complejo educativo COSEY. En este caso cabe señalar que a medida

que se desarrollo la investigación se pudo observar la gran necesidad de la construcción de este sistema de tratamiento. Esperando que este trabajo se gran utilidad para promover la conciencia de la preservación del agua.

REFERENCIAS

- [1] Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Manual: wastewater treatment / disposal for small communities. Washington, DC: EPA. EPA/625/R92/005. 1992.
- [2] Autoridad de Acueducto y Alcantarillado. Normas de Diseño/AA, San Juan, Puerto Rico: La Autoridad, 1974.
- [3] Fresenius, W.; Schneider, W.; Böhnke, B.; Pöppinghaus, K. "Waste water technology: origin, collection, treatment and analysis of waste water". Nueva York: Springer-Verlag. 1989.
- [4] Mara. D.D. and Pearson, H.W. (1986). Artificial freshwater environments: Waste stabilization ponds. In: *Biotechnology*. Vol. 8 (ed. W. Schoenborn), pp 177-206. Weinheim: VCH Verla
- [5] Metcalf and Eddy. "Wastwater engineering: Collection treatment disposa", New York: McGraw-Hill, Book Company, 1981.