

5. PROPUESTA DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA LA OPERACIÓN DEL PROTOTIPO

5.1. Objetivo e hipótesis

El objetivo de este capítulo es describir el procedimiento básico a seguir para la puesta en marcha de la planta prototipo, tomando en cuenta los criterios de diseño anteriormente presentados y las experiencias reportadas en el Capítulo 4. Se consideran las siguientes condiciones del experimento:

- El agua residual generada en el del edificio de la DICyG es de tipo doméstico
- El funcionamiento del sistema será continuo y sin interrupciones
- No se contará con tratamiento de lodos

5.2. Alcances

Se pretende que el presente documento sirva como manual de diseño, operación y mantenimiento para un sistema de biodiscos económico y de alta eficiencia, como alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas en los edificios que no cuentan con sistema de alcantarillado público. Al mismo tiempo, se planea usar el prototipo con fines didácticos en el área de ingeniería ambiental, utilizando este sistema de tratamiento con el fin de fortalecer la formación de los alumnos de ingeniería civil y del programa de especialización en Ingeniería Sanitaria.

5.3. Metodología para el desarrollo del experimento

En este apartado se describe el procedimiento de diseño de la planta prototipo, los conocimientos básicos de operación y mantenimiento y los problemas más comunes en este tipo de sistemas.

5.3.1. Diseño del biodisco

En el Capítulo 3 de este trabajo se menciona el uso de curvas empíricas de carga suministradas por los fabricantes. En este caso no se cuenta con dicha

curvas, por lo que se usarán las fórmulas mostradas en el mismo capítulo, sabiendo que la única manera de conocer su aproximación será con las pruebas realizadas al sistema.

Para el diseño de un biodisco se debe conocer el gasto, la DBO en el influente y la DBO del efluente deseada, así como la DBOs de entrada y la temperatura media. Con estos parámetros conocidos se hace uso de la fórmula (3.5).

En este caso se aplicará la ecuación (3.1) debido a que se conoce el área superficial, y se supondrá un valor de DBO de 250 mg/L con una relación de DBOs/DBO = 0.5 en el influente.

Para la determinación del gasto se realizaron mediciones de descargas de agua residual en la DICyG (Anexo A) obteniéndose un gasto promedio de 1.2 m³/d, mismo que comparándose con la capacidad máxima del biodisco resulta ser menor (1.2 m³/d < 6.15 m³/d). Con estos datos se puede estimar la remoción de DBO de la siguiente forma:

Datos:

$$A_{\text{Total}} = 23 \text{ m}^2$$

$$Q = 1.2 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$S_0 = 125 \text{ mg/L}$$

Según el arreglo mostrado en el capítulo 4, para la 1ª etapa se tiene:

$$A_1 = \frac{A_T}{2} = \frac{23 \text{ m}^2}{2} = 11.5 \text{ m}^2$$

sustituyendo los datos en la ecuación (3.1)

$$S_n = \frac{-1 + \sqrt{1 + (4)(0.00974) \left(\frac{A_s}{Q}\right) S_{n-1}}}{(2)(0.00974) \left(\frac{A_s}{Q}\right)} \quad (3.1)$$

$$S_1 = \frac{-1 + \sqrt{1 + (4)(0.00974) \left(\frac{11.5}{1.2}\right) 125}}{(2)(0.00974) \left(\frac{11.5}{1.2}\right)} = 30.9 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Para la 2ª etapa se tiene:

$$A_{2,3} = \frac{A_T}{2} = \frac{23 \text{ m}^2}{4} = 5.75 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \frac{-1 + \sqrt{1 + (4)(0.00974) \left(\frac{5.75}{1.2}\right) 30.9}}{(2)(0.00974) \left(\frac{5.75}{1.2}\right)} = 17.15 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Por último en la 3ª etapa:

$$S_3 = \frac{-1 + \sqrt{1 + (4)(0.00974) \left(\frac{5.75}{1.2}\right) 17.15}}{(2)(0.00974) \left(\frac{5.75}{1.2}\right)} = 11.25 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{125 - 11.25}{125} * 100 = 91 \%$$

Como se puede observar, según la fórmula (3.1) la remoción de DBO será de aproximadamente el 91 %, lo que representa una alta eficiencia en relación con este parámetro.

Cabe mencionar que no se pretende tener un tratamiento de nitrificación, por lo que se considera que el prototipo es más que suficiente para tratar un caudal de 1.2 m³/d, si éste varía debe seguirse el mismo procedimiento para calcular la remoción de DBO.

Se revisarán los valores que se tienen tomando en cuenta los criterios de la CNA (tabla 3-2).

Carga Orgánica:

DBO ₅ de proyecto =	250 [mg/L] (se obtiene experimentalmente)
DBO ₅ recomendada:	480 [mg/L] – 9610 [mg/L] (sin nitrificación)
DBO ₅ recomendada:	240 [mg/L] – 320 [mg/L] (con nitrificación)

Carga Hidráulica:

Carga hidráulica del proyecto:

$$CH = \frac{Q}{A} = \frac{1200 \left[\frac{L}{d} \right]}{23[m^2]} = 52.18 \left[\frac{L}{m^2} \right]$$

Carga hidráulica recomendada: **30.6 [L/d/m²] – 61.1 [L/d/m²]** (sin nitrificación)

Tiempo de retención:

Debido a que no se rebasa la capacidad del biodisco se obtendrá el tiempo de retención de la siguiente manera:

$$T_r = \frac{Q \left[\frac{L}{d} \right]}{24 \left[\frac{h}{d} \right]} = \frac{1200 \left[\frac{L}{d} \right]}{24 \left[\frac{h}{d} \right]} = 50 \left[\frac{L}{h} \right]$$

Para homogeneizar unidades y poder comparar con los criterios de la CNA se divide entre el área superficial:

$$\frac{50 \left[\frac{L}{h} \right]}{23[m^2]} = 2.17 \left[\frac{L}{m^2} \right] = 2.17 \left[\frac{L}{m^2 h} \right]$$

La CNA basa este concepto en 0.12[gal/pie²], por lo que se sigue el siguiente procedimiento:

$$0.12 \left[\frac{gal}{pie^2} \right] * \frac{3.785[L]}{1[gal]} * \left(\frac{1[pie]}{0.3048[m]} \right)^2 = 4.89 \left[\frac{L}{m^2} \right]$$

Para este valor se recomienda entre 0.67 [h] y 2 [h], por lo que expresado en otras unidades es:

$$\frac{4.89 \left[\frac{L}{m^2} \right]}{0.67[h]} = 7.30 \left[\frac{L}{m^2 h} \right]; \quad \frac{4.89 \left[\frac{L}{m^2} \right]}{2[h]} = 2.44 \left[\frac{L}{m^2 h} \right] \quad (\text{sin nitrificación})$$

$$\frac{4.89 \left[\frac{L}{m^2} \right]}{1.5[h]} = 3.26 \left[\frac{L}{m^2 h} \right]; \quad \frac{4.89 \left[\frac{L}{m^2} \right]}{4.17[h]} = 1.17 \left[\frac{L}{m^2 h} \right] \quad (\text{con nitrificación})$$

Tomando en cuenta los conceptos anteriores se puede esperar que se logre un poco de nitrificación debido a que el tiempo de retención se encuentra entre los valores con nitrificación fijados por la CNA al igual que la carga orgánica. Es importante mencionar que los resultados indican que las características del

sistema de CBR que se va a emplear son las adecuadas para lograr un tratamiento a nivel secundario.

5.3.2. Operación y mantenimiento

Estabilización del sistema

Para lograr una estabilización del sistema es necesario remontarse al tiempo en que el mismo va a empezar a operar. Una vez que se arranca el sistema, al tercer o cuarto día se podrá observar que la película biológica ha comenzado a formarse. Después de 2 o 3 semanas la película adquiere un color entre café y gris, aproximadamente se requiere de 2 o 3 semanas más para que las bacterias nitrificantes aparezcan en las últimas etapas del biodisco. Una vez estabilizado el sistema la planta operará durante largos periodos de manera ininterrumpida, para lo cual es necesario operarla adecuadamente.

Mantenimiento

La operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento a base de biodiscos juega un papel importante en la vida útil del equipo por lo que debe ser bien ejecutado para evitar problemas como el desprendimiento excesivo de biopelícula o, peor aún, el paro completo del sistema.

Una de las actividades diarias de control y los parámetros más importantes para controlar un proceso de discos biológicos es la inspección del equipo. Es recomendable que diariamente se lleve a cabo la siguiente rutina para mantener el equipo en óptimas condiciones de operación:

- Observar que la caja del balero de la flecha no se sobrecaliente, con la ayuda de un termómetro verifique que no exceda de los 93° C, si esto ocurre se tendrá que cambiar la pieza.
- Verificar que la flecha esté bien alineada, al igual que no existan ruidos anormales en el rodamiento del motor que mueve la flecha del reactor biológico.
- Revisar que los motores no tengan calentamientos anormales.

- Si existen derrames alrededor del sistema motriz y de la flecha principal, se deberán revisar los niveles de aceite del reductor de velocidad y del sistema de la cadena motriz.
- Revisar que no existan daños en los empaques o sellos.
- Verificar que la cadena motriz esté bien alineada y ajustada.
- Revisar la tensión de las bandas y,
- Mantener limpia el área de trabajo.

Problemas de operación

Durante las dos primeras semanas de operación es normal que se presenten desprendimientos, debido a que es una etapa de aclimatación de los organismos a la superficie del medio. Si los desprendimientos son severos durante o después del periodo de estabilización es posible que exista una escasez de nutrientes o presencia de tóxicos que motiva una inestabilidad en la adherencia. Si esta situación se presenta, es necesario investigar mediante pruebas de laboratorio la causa del problema y encontrar la solución adecuada.

Cuando se presente una excesiva acumulación de lodos en el tanque, se recomienda vaciarlo para determinar el tipo de sólido existente y poder llevar a cabo la mejor solución posible. Las fallas de energía eléctrica afectan severamente el funcionamiento de un sistema de biodiscos; si la falla es por más de 4 horas, la flecha del medio se debe girar $\frac{1}{4}$ de vuelta por lo menos dos veces al día para evitar una gran acumulación de crecimiento biológico en la parte baja del disco, se debe rociar agua constantemente sobre el crecimiento biológico que no está sumergido para mantener la biomasa húmeda y evitar desprendimientos; en caso de que la falla sea por más de 12 horas ocurrirá un desprendimiento normal de la biomasa cuando la unidad sea puesta en funcionamiento nuevamente, si el desprendimiento es excesivo deberán recircularse los lodos del sedimentador secundario para reponer la biomasa y de no ser posible se tendrá que esperar el tiempo necesario para que se establezca el sistema.

5.4. Montaje

5.4.1. Ubicación y diseño de la planta prototipo

La División de Ingeniería Civil y Geomática cuenta con un jardín con acceso desde el exterior, en la cual se encuentra el registro del albañal de las aguas residuales generadas en este edificio. El espacio es suficiente y permite un control de seguridad debido a que es un lugar rodeado por el mismo edificio y una barda lateral paralela al circuito interior de la universidad.

El tratamiento de estas aguas residuales será de la siguiente forma: Los baños descargarán al registro ubicado en el jardín antes mencionado, éste se comunicará con un tanque que almacenará las aguas residuales con el fin de poder bombearlas hacia otro tanque de sedimentación primaria ubicado en la parte exterior sobre una base de altura mínima de un metro, posteriormente pasará al sistema de biodiscos donde se tendrá el tratamiento principal, al salir de este sistema ingresará a un tanque, el cual servirá como sedimentador secundario permitiendo el reúso. El arreglo del sistema se muestra en la figuras 5-1 a 5-3.

Para un funcionamiento ideal se recomienda la construcción de un espacio cerrado y techado para el biodisco que evitará la entrada de materia externa al sistema (polvo, hojas, tierra, etc.). Se dispondrá de una caseta para este fin. El tamaño de los tanques está en función del caudal que se va a tratar, en este caso se estima que es de $1.2 \text{ m}^3/\text{d}$. Cabe mencionar que la bomba a utilizar proporciona un gasto de 4.8 L/s para una altura entre 2 y 3 metros, además, cuenta con una potencia de 0.5 H.P., pudiendo alcanzar alturas de hasta 70 pies (21.3 m) con un gasto de 13 GPM (0.83 LPS). Debido a que el tanque de almacenamiento se encuentra por debajo del nivel del suelo se propone el uso de un electronivel EC01 de la empresa CEISA o similar, cuya función es la de regular el funcionamiento de la bomba con base en los niveles de agua tanto en la cisterna como en el tanque y su instalación es sencilla, se pueden ver las características de este equipo y de la bomba en los Anexos B y C.

Es importante mencionar que se debe contar con una estructura en la salida de la bomba que funcione como tranquilizador o disipador de energía, lo que evitará el levantamiento de sedimentos en el tanque permitiendo la salida continua del efluente, es decir un gasto medio de 0.014 L/s.

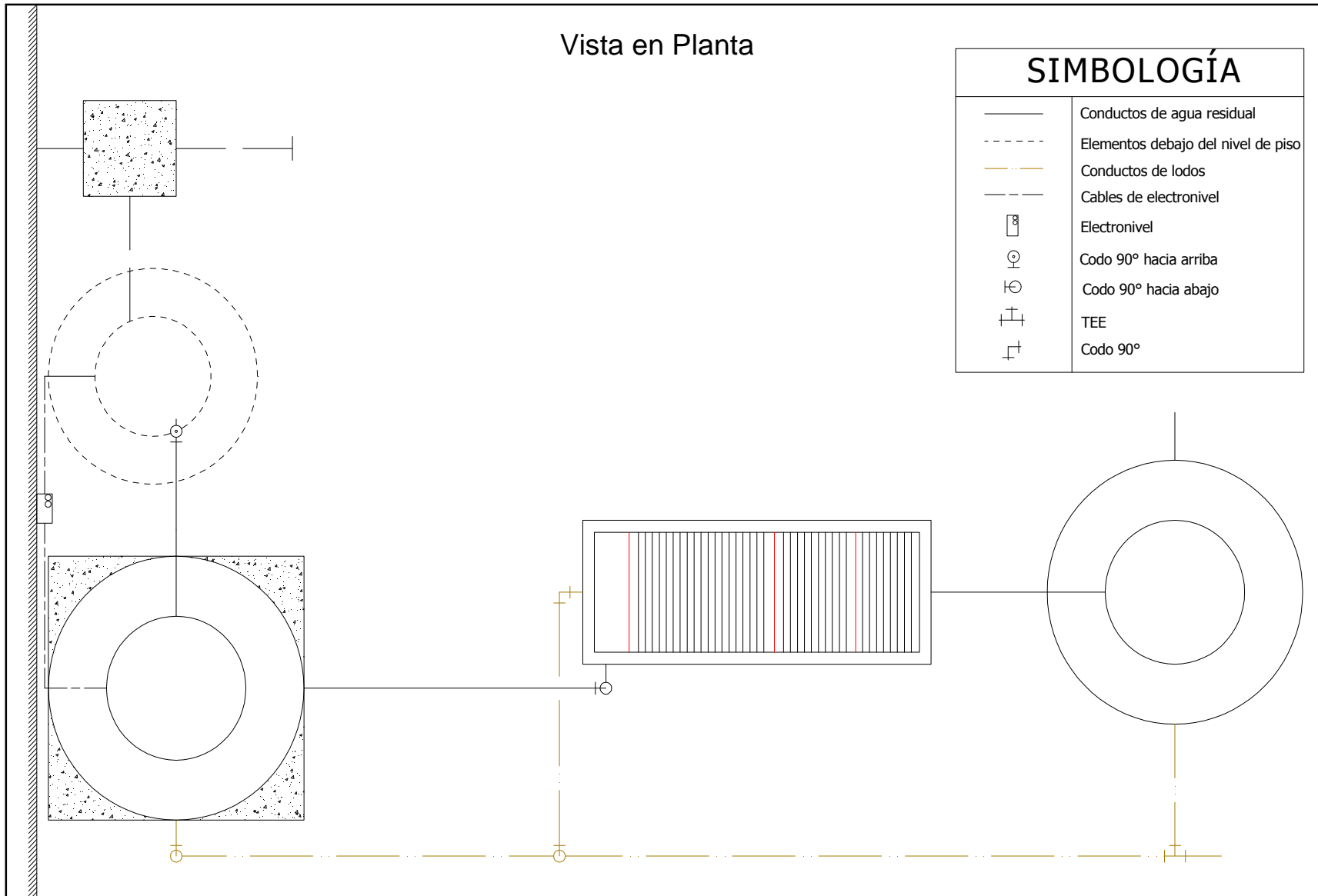


Figura 5-1 Vista en planta del sistema de tratamiento a base de CBR

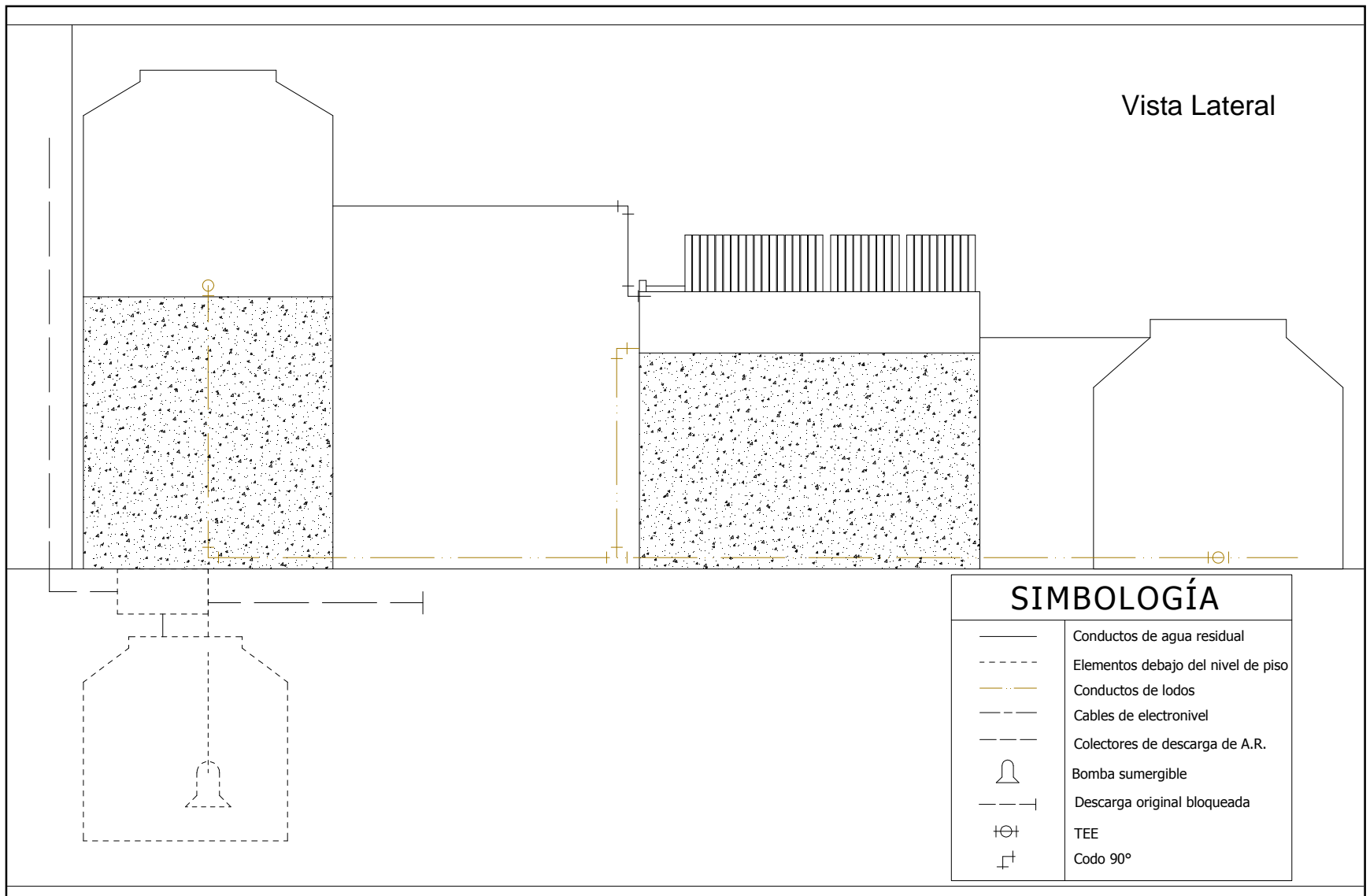


Figura 5-2. Vista lateral del diseño del sistema de tratamiento a base de CBR

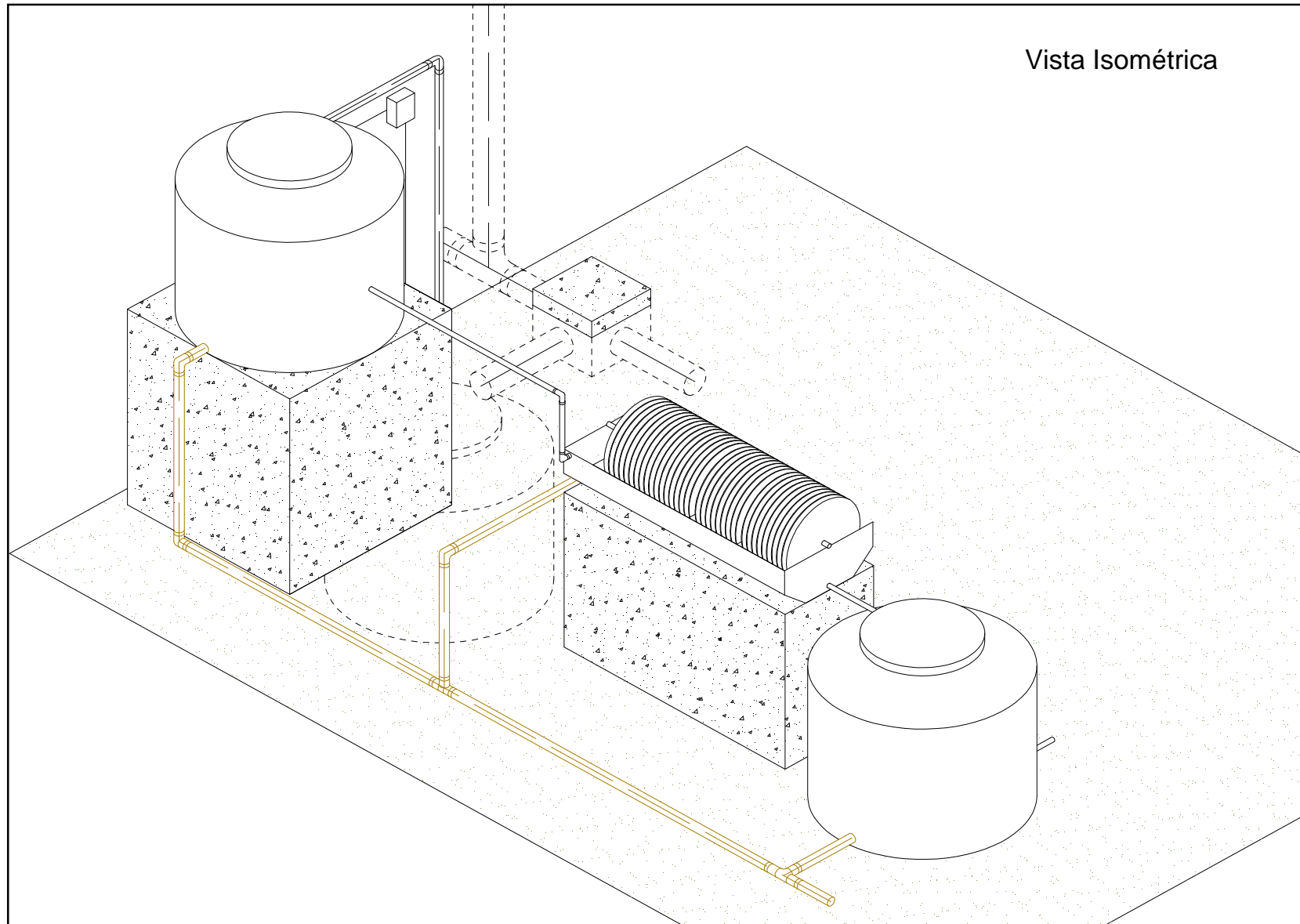


Figura 5-3. Vista en isométrico del diseño del sistema de tratamiento a base de CBR

Por el momento no se pretende dar un tratamiento a los lodos generados por lo que serán transportados a la planta de tratamiento de aguas residuales del campus localizada en Av. Cerro del Agua y serán descargados con los lodos de dicha planta a la red de alcantarillado pública.

5.5. Pruebas del prototipo

Los parámetros que se manejarán en el estudio de la planta prototipo propuesta son los siguientes: DBO₅, DQO, SST, pH y Temperatura, los cuales servirán para comparar resultados con los modelos mostrados anteriormente. Para esto es necesario dar a conocer los métodos de análisis a utilizar para cada uno de ellos, así como la planeación de la obtención de muestras a lo largo del proyecto.

5.5.1. Técnicas de análisis

Los análisis de los parámetros mencionados anteriormente se efectuarán de acuerdo con los métodos estandarizados (Standard Methods, 20^a edición) y a algunas normas mexicanas donde se muestra toda la información necesaria para determinar el valor de cada uno de los parámetros.

Para la DBO₅ la prueba debe efectuarse el mismo día de obtención de la muestra con el fin de evitar alteraciones en los resultados, el método recomendado es el 5120 B (Standard Methods). Las muestras deben ser tomadas diariamente, al igual que su análisis, para obtener un valor promedio lo más aproximado posible al real.

Para los SST se utiliza la misma muestra obtenida para determinar la DBO utilizando la norma mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001, realizándose la prueba de manera constante y con la misma frecuencia que el parámetro anterior.

Se recomienda que las pruebas de DQO se realicen diariamente, aunque esto podría implicar la disposición de más recursos humanos debido a que con este parámetro sumarían un total de 3 métodos realizados el mismo día. El método recomendado es el llamado dicromato de potasio, correspondiente al número 5220 B (Standard Methods).

Por último, en cuanto al pH y temperatura se puede hacer uso de cualquier instrumento de medición disponible en laboratorio para su determinación, la frecuencia puede ser la misma que los anteriores parámetros ya que no demandan de un procedimiento extenso.

6. CONCLUSIONES

La planeación y el diseño del sistema de tratamiento a base de biodiscos muestra el equipo necesario para su funcionamiento básico y cuenta con la posibilidad de ampliar el nivel de tratamiento y/o su capacidad, permitiendo nuevas instalaciones.

Las técnicas de análisis presentadas en este trabajo son las más comunes y la aplicación de algunas de ellas tienen lugar en la formación que imparte la Facultad de Ingeniería, por lo que se espera que se desarrollen sin grandes dificultades.

Debido al constante bombeo y a que éste provoca turbulencia en el taque al cual descarga, se recomienda la utilización de algún tipo de estructura que funcione como tranquilizador en dicha descarga, ésta estructura debe evitar que grandes sólidos sedimentados pasen a la tubería de alimentación del biodisco y al mismo tiempo permitir la salida de los lodos acumulados.

La DICyG cuenta con un periodo de vacaciones administrativas cada semestre, en el cual no se presenta el personal que labora en este edificio y por consecuencia no existe la generación de aguas residuales, por esta razón se debe proponer una metodología tal que permita suspender el funcionamiento del sistema al llegar dicho periodo y proporcionar las medidas necesarias para reiniciar las actividades del mismo.

Con base en las experiencias reportadas con los equipos similares que se incluyeron en este trabajo y los cálculos realizados en el Capítulo 5, se espera que los rendimientos del sistema de tratamiento a base de CBR se encuentren entre un 80% y 95% en los parámetros presentados.

Es necesario el constante monitoreo mecánico y analítico del sistema para prevenir posibles fallas de operación o, de ser el caso, detectar el origen de las mismas. Además, esto permite la creación de una base de datos que servirá para futuras investigaciones en este tipo de sistemas de tratamiento.