

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN

Biofiltro: Prototipo Simulador de Lluvia Ácida

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

PABLO CORONA UGALDE

ASESOR:

DR. RAÚL PINEDA OLMEDO

SANTA.CRUZ.ACATLÁN,,EDO..DE.MÉXICO,,ENERO 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres, por darme siempre lo mejor.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO	3
2.1 ALCANCES	3
3. JUSTIFICACIÓN.....	3
4. HIPÓTESIS	4
5. METODOLOGÍA	5
6. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	8
6.1 MARCO TEÓRICO.....	8
6.1.1 Biofiltración.....	8
6.1.2 Historia de la biofiltración.....	9
6.1.4 Aplicación de los biofiltros.....	10
6.1.5 Eliminación biotecnológica de malos olores.....	11
6.1.6 Biofiltración en México.....	12
6.3 DISEÑO DE UN BIOFILTRO.....	14
6.3.1 Microorganismos	14
6.3.2 Tamaño y configuración.....	15
6.3.3 Reactor del biofiltro.....	16
6.3.4 Material filtrante	17
6.3.5 Condicionamiento del gas contaminado	19
6.3.6 Control de humedad.....	20
6.3.7 Control del pH.....	20
6.3.8 Presión y consumo de energía.....	20
6.3.9 Mantenimiento.....	21
6.3.10 Fallas potenciales de un sistema de biofiltración	21
6.5 CONTAMINANTE MODELO.....	22
6.5.1 Metanol.....	22
6.5.2 Toxicidad del metanol para el ser humano.....	23
6.5.3 Toxicidad del metanol en las poblaciones microbianas.....	23
6.6 MATERIAL BIOFILTRANTE MODELO.....	23
6.6.1 Cáscara de cacahuete.....	23
7. DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA	25
7.1 DIAGRAMA DEL SISTEMA	27
7.3 BOCETAJE.....	28
7.4 EQUIPO SECUNDARIO.....	29
7.4.1 Bomba peristáltica	30
7.4.2 Compresor	30
7.4.3 Calentador.....	31
7.4.4 Accesorios.....	31
7.5 EQUIPO ADICIONAL DE MEDICIÓN	32
7.5.1 Medidor de flujo.....	32
7.5.2 Detector de gases	34
7.5.3 Obtención del equipo.....	35
7.6 CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA	36
7.6.1 Usuario final.....	36
7.6.2 Lugar de uso.....	37

7.6.3	<i>Funcionamiento</i>	37
7.6.4	<i>Concepto final</i>	37
8.	DISEÑO FINAL DEL SISTEMA DE BIOFILTRACIÓN	39
8.1	DISEÑO DEL BIOFILTRO (REACTOR)	39
8.1.1	<i>Diseño</i>	39
8.1.2	<i>Funcionamiento</i>	41
8.1.3	<i>Materiales y fabricación</i>	41
8.3	DISEÑO DEL SISTEMA.....	44
8.3.2	<i>Configuración final</i>	45
8.3.3	<i>Soporte del modelo</i>	46
8.3.4	<i>Bases para equipos y accesorios</i>	46
8.3.6	<i>Instalaciones del sistema</i>	48
8.4	MODELO DEL SISTEMA	49
8.4.2	<i>Modelado 3D</i>	50
8.4.3	<i>Dibujo de planos 2D</i>	50
9.	RESULTADOS	52
10.	CONCLUSIONES.	55
11.	FUENTES CONSULTADAS.	57
12.	ÍNDICE DE FIGURAS	60
13.	ANEXOS	63

1. Introducción

Actualmente, la combinación de metodologías, ideologías, conocimientos y herramientas, son indispensables para la correcta sinergia de cualquier sistema de estudio o trabajo. La interdisciplina no solamente es indispensable para el desarrollo tecnológico, cultural o social, sino que forma parte de la vida humana desde su origen. Ningún oficio o profesión podría prescindir de la aportación de otro. Históricamente, un claro ejemplo de la interdisciplinariedad es la obra de arte conocida como el *Hombre de Vitrubio* de Leonardo da Vinci, quien mezcló el arte y la ciencia para explicar la proporción del cuerpo humano.

Sin embargo, cada día la interconexión se vuelve más compleja; esto conlleva a nuevas formas de pensamiento y análisis, y por ende, a nuevas disciplinas. Basta con observar las nuevas profesiones que el campo laboral hoy demanda, y que requieren de dos a más sistemas de análisis para llegar a un objetivo.

El trabajo que hoy se presenta en este documento, trata sobre la relación entre dos disciplinas: el diseño industrial y la ingeniería ambiental. Es importante recalcar que se optó por la realización de este proyecto debido a mi formación académica; soy egresado de la carrera de diseño industrial, la cual es la disciplina que se encarga de la creación, adaptación y mejora de objetos utilizados por el hombre. La Universidad Nacional Autónoma de México, en su plan de estudios, describe al diseñador industrial de la siguiente forma:

“El diseñador industrial genera objetos y productos de fabricación industrial que tienen contacto directo con el hombre, realiza mejoras a los ya existentes, haciéndolos atractivos para que satisfagan las necesidades de una sociedad que está en constante cambio.

Crea nuevas propuestas y soluciones acordes con los requerimientos de los diferentes mercados que demandan productos mejor planeados y diseñados, con el objeto de lograr el óptimo aprovechamiento de la infraestructura nacional.

Desarrolla su actividad en tres áreas principales: dentro de una industria o empresa, en actividades de consultoría, o bien, como empresario productor.”

Por otro lado, la ingeniería civil para mí, es la búsqueda de soluciones prácticas a través del conocimiento científico, en sus múltiples variantes de estudio, para atender el entorno humano. Ahora bien, evidentemente existe conexión entre el diseño industrial y la ingeniería civil en diversos campos, quizá la más importante yace en el diseño de dispositivos ergonómicos, seguros y funcionales para la industria de la construcción. Otro ejemplo es el diseño y mejora de equipos de laboratorio para la investigación y estudio de la ingeniería civil. Sin una correcta planeación de objetos y sus materiales, el funcionamiento y correcto uso de las herramientas y equipos de trabajo quedarían mermados. El diseño no sólo atiende a la estética de un objeto, sino que responde a las necesidades de uso que le dará cualquier individuo, siempre comprometido con la función y forma del mismo.

Capítulo 1. Introducción

En mi punto de vista, una de las limitantes en el campo profesional en nuestro país, es el escaso interés por la inversión de recursos en el diseño de un objeto, en la mayoría de los casos, el diseño es considerado un gasto y no una inversión. Sin embargo, una buena ejecución de éste no sólo ayuda a vender mejor una idea, sino que reduce recursos y optimiza el funcionamiento.

Finalmente, la relevancia de este trabajo yace en analizar un proceso biológico y aterrizarlo a un sistema práctico y funcional. Para ello es preciso seguir una metodología de trabajo, que se puede resumir en tres niveles básicos de análisis: comprender el sistema, definir sus partes y desarrollar un diseño funcional.

2. Objetivo

Diseñar un sistema cerrado de biofiltración, mediante un análisis teórico y un desarrollo creativo, para su integración en un modelo demostrativo a escala.

2.1 Alcances

- Investigar sobre la teoría de la biofiltración y los modelos más utilizados.
- Diseñar un reactor biofiltrante de lecho fijo y su sistema de biofiltración.
- Obtener y fabricar los elementos del modelo de biofiltración.

3. Justificación

Gracias a mi interés por la realización de una tesis como método de titulación, así como por mi formación académica previa (Licenciatura en Diseño Industrial), fui invitado a participar en este proyecto con el objetivo de crear un dispositivo que demostrara el proceso de la biofiltración, utilizando cáscara de cacahuete como medio biofiltrante. El beneficio de contar con un modelo representativo de este tipo de tecnología, podrá impulsar de manera positiva la enseñanza y aprendizaje en temas ambientales a nivel profesional. Personalmente, acepté la realización de este trabajo por el reto que representaba, así como por mi interés por el diseño y la creación de nuevos objetos.

El sistema de biofiltración propuesto en este trabajo utilizará cáscara de cacahuete como material de soporte, ya que se ha comprobado que es un material potencialmente biofiltrante (ver capítulo 6, sección 6.6).

Cabe mencionar que mi asesor de tesis, el Dr. Raúl Pineda Olmedo, en conjunto con otros investigadores, llevaron a cabo la puesta en marcha de un sistema de biofiltración utilizando cáscaras de cacahuete como material biofiltrante; en un artículo de Innovación UNAM se citó lo siguiente: *“Pineda Olmedo explicó que el filtro tarda en promedio 28 días para sintetizar los microorganismos como Fusarium y Brevibacterium. Las bacterias y hongos toman del contaminante una parte del carbono para reproducirse y otra para respirar. En México esta tecnología no se ha explotado extensivamente, por ello se busca comercializar la innovación, que sea una solución aplicable a la vida cotidiana. Van a crear un prototipo demostrativo para escuelas y accesible a alumnos, quienes puedan aplicar y replicarla.”* (Revista Innovación UNAM)

El párrafo anterior es la mejor evidencia sobre la justificación de esa tesis, por lo que se pretende realizar un modelo principalmente con base en las recomendaciones del Dr. Pineda, así mismo, por medio del estudio y creación de un concepto de diseño que permita obtener un sistema adecuado para la biofiltración de aire contaminado en un modelo demostrativo.

Cabe mencionar, como se manifiesta en los alcances, que el diseño del modelo de biofiltración incluye la fabricación, obtención e integración de los elementos en un

sistema. Para su puesta en marcha, será necesario realizar una serie de análisis y pruebas adicionales para su correcta calibración.

4. Hipótesis

Un biofiltro es un elemento capaz de lograr la degradación de contaminantes contenidos en un gas. Es posible llevar a cabo estas condiciones en un modelo de biofiltración real, para ello es necesario considerar las siguientes variables:

- Diseñar un modelo de biofiltro de lecho fijo, esto es, un dispositivo que permita el correcto soporte de material filtrante.
- Elegir un material biofiltrante, el cual servirá como soporte y fuente de nutrientes para los microorganismos responsables de la biofiltración.
- Contar con el material y equipo necesario para simular las condiciones adecuadas para el sistema.
- Diseñar un sistema que soporte e integre el equipo y materiales para simular las condiciones reales de la biofiltración.

Si se cumplen estas variables, entonces será posible la realización de un modelo simulador de lluvia ácida que sirva para demostrar que la biofiltración por medio de materiales orgánicos es posible.

5. Metodología

Para llevar a cabo la solución de la hipótesis, es necesario el desarrollo de dos procesos de análisis:

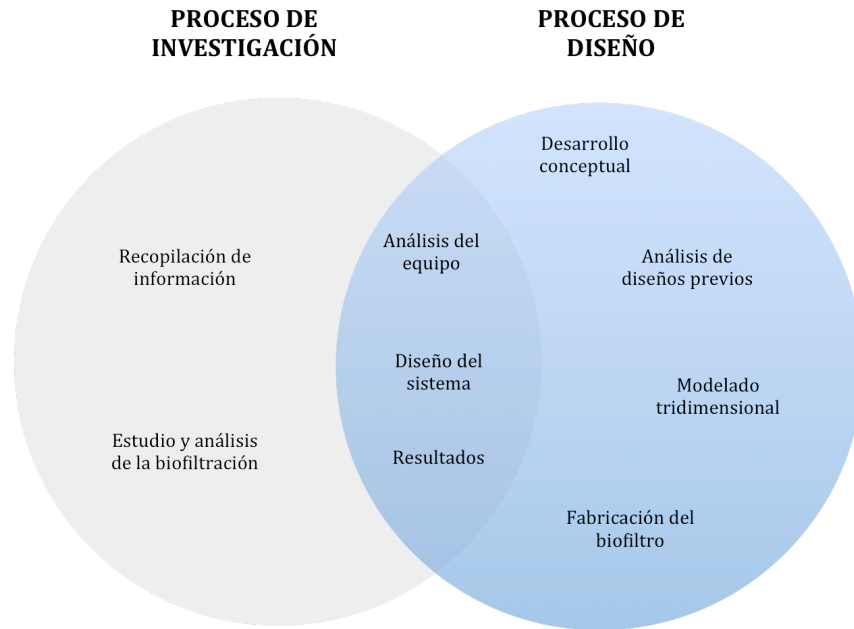


Figura 1. Metodología de trabajo.

Como se observa en el diagrama, el proceso de investigación consiste en el estudio y demostración a nivel teórico sobre el proceso de la biofiltración, mientras que el proceso de diseño se refiere al desarrollo de ideas para la conceptualización y desarrollo del mismo. Ahora bien, la integración de ambos procesos recae en el diseño del sistema completo: una vez que se tiene conocimiento del funcionamiento de los equipos, del proceso de biofiltración, y que se cuenta con un concepto final de diseño, se procede a su desarrollo.

Para el desarrollo de la presente tesis, se llevó a cabo una metodología de trabajo como a continuación se describe:

1. Introducción al problema.

El primer acercamiento que tuve fue cuando mi asesor de tesis me presentó a manera de boceto y diagramas el mecanismo y operación de un sistema de biofiltración.

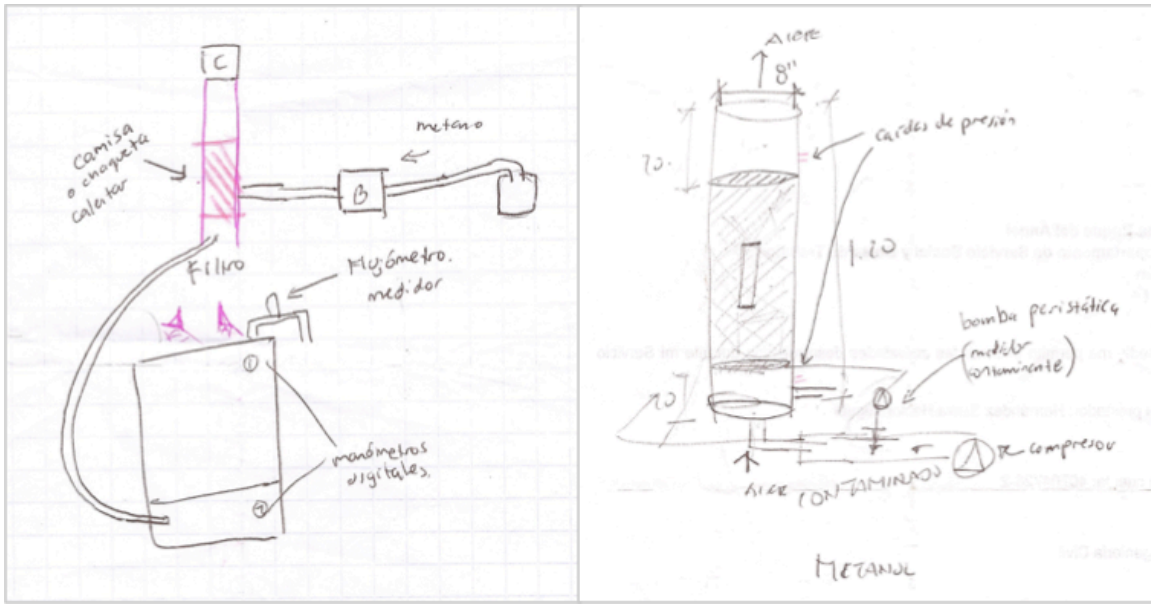


Figura 2. Primeros diagramas para la comprensión del sistema.

Una vez asentada la idea, se planteó el objetivo principal, el cual fue desarrollar un modelo funcional que represente un ambiente similar al de la lluvia ácida, para demostrar el proceso de la biofiltración.

Como se explicó anteriormente, mi interés por la creación de algo nuevo, además de participar en un proyecto para la mejora en la enseñanza y aprendizaje, fue lo que me impulsó a aceptar este reto.

2. Investigación del marco teórico.

La biofiltración es un proceso complejo, que aunque ha sido explorado y utilizado desde hace más de 90 años, aún tiene un amplio campo de investigación. Aunque es vasta la gama de sectores en la industria que han adoptado esta tecnología, sigue existiendo una preferencia por otros métodos para el control de contaminantes en el aire, o APC (por sus siglas en inglés: *Air Pollution Control*). Desde mi punto de vista, uno de los principales motivos de esto último, es por la restricción que existe en la biofiltración, la cual funciona únicamente para gases con baja concentración de COVs (compuestos orgánicos volátiles) u otros contaminantes, a diferencia de otros métodos como la combustión, absorción o adsorción. Así mismo, durante mucho años, el desarrollo de biofiltros se realizaba de manera empírica, ya que fue hasta la década de 1960 que se comenzó a comprender su verdadero funcionamiento.

Por estas razones, las fuentes de información sobre la biofiltración son escasas. En este trabajo se hizo la labor de recopilar datos de lo que se menciona a continuación:

- Análisis del concepto de biofiltración y sus antecedentes.
- Estudio de las partes que conforman un sistema de biofiltración.
- Parámetros de diseño para la correcta operación de un sistema de biofiltración.
- Tipos de biofiltros.
- Aplicación de la biofiltración.

En el siguiente capítulo se habla sobre los puntos antes mencionados; la información mostrada está planteada de manera concisa para entender de manera general y guiar al lector hacia lo que fue el planteamiento principal del problema, que es el diseño del un sistema de biofiltración.

3. Diseño del sistema.

Después de conocer el sistema, tanto su funcionamiento, como las partes que conforman un modelo convencional de biofiltración, se comenzó con el desarrollo de su diseño. A manera de listado, la metodología fue la siguiente:

- a) Desarrollo del concepto de diseño: constantemente se planteó a quién sería dirigido el diseño. Es la parte más importante del trabajo ya que es lo que define la configuración y funcionamiento del sistema. Cabe mencionar que la investigación del marco teórico jugó un papel fundamental.
- b) Lluvia de ideas: se refiere a la exploración del concepto de diseño a través del bocetaje.
- c) Juntas de revisión: existieron numerosas visitas en la Universidad, donde nos reunimos mi asesor y yo para la aclaración de dudas, propuestas de materiales, elección de alternativas de diseño, etc.
- d) Elección y obtención del equipo necesario para el funcionamiento del sistema.
- e) Diseño final y modelado del sistema: a través de un software especializado, se realizó el modelo del biofiltro, del equipo esencial y de los accesorios para su funcionamiento.
- f) Elaboración de maquetas.
- g) Elaboración de planos de taller.
- h) Fabricación del biofiltro y del sistema de soporte.
- i) Diseño final del sistema, integrando cada una de sus partes.

Lo anterior es un proceso típico para el diseño de un objeto. En el contenido del presente documento se observa de manera gráfica y detallada los pasos que se siguieron para la obtención del resultado final.

4. Resultados y conclusiones.

Luego de la realización del sistema de biofiltración, se procedió a analizar si el diseño cumple con el objetivo general: "Diseñar un sistema cerrado de biofiltración, mediante un análisis teórico y un desarrollo creativo, para su integración en un modelo demostrativo a escala."

5. Fuentes consultadas.

Toda la información contenida en el presente documento fue obtenida de fuentes fidedignas, tales como libros, revistas de divulgación científica, artículos de investigación, páginas web especializadas, publicaciones de congresos de investigación, así como de la experiencia y conocimiento de mi asesor.

6. Desarrollo de la investigación

6.1 Marco teórico

6.1.1 Biofiltración

La biofiltración es una tecnología para el control de contaminantes en el aire relativamente reciente, la cual consiste en pasar un gas contenedor de COV¹ o bien, compuestos inorgánicos tóxicos, a través de un material biológicamente activo. (Leson & Winer, p. 1045)

En el caso más común, la biofiltración se refiere al paso de aire contaminado a través de un bioreactor formado por lechos empacados de material. Conforme el aire atraviesa por el biorreactor², los contaminantes se transfieren hacia una biopelícula³ que crece en un medio sólido. Una vez dentro de la biopelícula, los microorganismos degradan a los contaminantes, generando productos (dióxido de carbono, agua y biomasa adicional) no tóxicos para el medio ambiente. (Moe & Qi, p. 950)

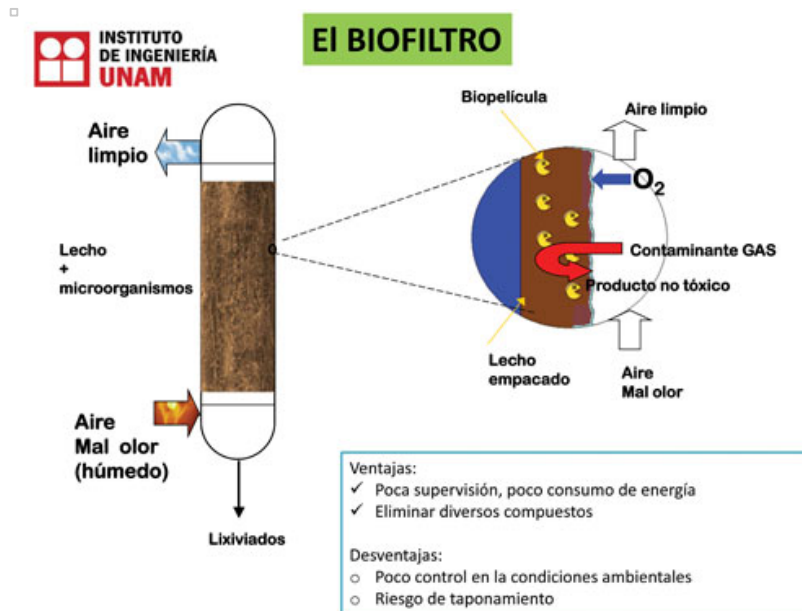


Figura 3. Esquema de un biofiltro. (González Sánchez & Morgan Sagastume, 2013)

¹ COVs o compuestos orgánicos volátiles, son compuesto químicos que contienen carbono, cuyas propiedades permiten su evaporación bajo condiciones atmosféricas (presión y temperatura) normales. (United States Environmental Protection Agency)

² Un biorreactor es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo.

³ Las biopelículas son comunidades microbianas complejas que contienen bacterias y hongos. Los microorganismos sintetizan y secretan una matriz de protección que adhiere firmemente la biopelícula a una superficie biótica o abiótica. (Phillips, Wolcott, Fletcher, & Schultz, 2010)

Se ha demostrado en laboratorio y en instalaciones a gran escala, que el tratamiento de gases por medio de la biofiltración es un método efectivo para controlar compuestos orgánicos volátiles durante la fabricación y/o aplicación de pintura u otros productos. Debido al bajo costo en comparación con otras alternativas, la biofiltración en particular es muy conveniente para tratar grandes volúmenes de flujos de aire que contienen bajas concentraciones de contaminantes biodegradables. (Leson & Winer, p. 1045)

6.1.2 Historia de la biofiltración

Desde 1923, existen estudios sobre el concepto del control de las emisiones de H₂S para plantas de tratamiento de aguas residuales. (Leson & Winer, p. 1047) Cerca de 1950, se reportó el uso de este concepto en Estados Unidos y en Alemania. En Estados Unidos, se realizaron pruebas exitosas de lechos de suelo para controlar emisiones de gases, mientras que en Alemania se utilizó un sistema similar en una planta de tratamiento.

El primer estudio sobre la biofiltración sucedió al inicio de la década de los 60, cuando Carlson y Leiser instalaron satisfactoriamente un sistema de lechos de suelo en una planta de tratamiento en la ciudad de Seattle, donde se demostró que dicho sistema funciona para la remoción de olores. Décadas después, muchos investigadores han estudiado el concepto de lecho de suelo (en inglés, *soil bed*), y se ha demostrado su uso en diversos rubros. Casos exitosos sucedieron en Estados Unidos, donde se logró controlar olores de plantas de tratamiento, así como la eliminación de propano y butano emitido por la fabricación de aerosoles en lata.

A pesar de que se demostró que los lechos de suelo controlan cierto tipo de olores, así como compuestos orgánicos volátiles (COV) de manera eficaz y a bajo costo, su uso fue limitado en Norteamérica por la baja capacidad de biodegradación de los suelos y por el gran espacio que utilizan. Por otro lado, países europeos han desarrollado esta tecnología desde los años 60. En Alemania se ha utilizado la biofiltración en plantas de tratamiento de aguas residuales, en la industria alimentaria, así como en granjas.

Además de suelos, se han estudiado más materiales con mejores propiedades biológicas para su uso como agentes filtrantes. El proceso básico para determinar si un biofiltro era eficaz, se comprendió en los años 60, sin embargo los métodos utilizados eran muy empíricos. Desde entonces, los biofiltros han sido estudiados y utilizados en diversos campos de la industria en general. (Leson & Winer, p. 1047)

Actualmente esta tecnología es aplicada con éxito para el tratamiento de una amplia gama de contaminantes en flujos de hasta 400,000 m³/h. (Thalasso & Pineda Olmedo, 2002)

6.1.4 Aplicación de los biofiltros

Desde mediados de los años 80, la biofiltración como tecnología para el tratamiento de gases contenedores de COV y otros compuestos tóxicos, se ha utilizado como una alternativa a los métodos convencionales (combustión¹, absorción² y adsorción³), sobre todo en Europa. (Van Lith, Leson, & Michelsen, p. 37)

El campo de aplicación de la biofiltración está principalmente enfocado a la eliminación de olores y al tratamiento de efluentes que contienen bajas concentraciones de compuestos orgánicos volátiles. Un factor importante es que la biofiltración, que es un proceso de oxidación biológica, se aplica exclusivamente para la eliminación de contaminantes oxidables, compuestos orgánicos parcialmente oxidados o compuestos minerales reducidos. La biofiltración no representa por lo tanto una respuesta a las emisiones de óxido de azufre, de nitrógeno o de dióxido de carbono. Sin ninguna duda la aplicación de mayor importancia para la biofiltración es el tratamiento de olores provenientes de industrias alimenticias y similares (rastros, empacadoras, etc.). La siguiente aplicación en orden de importancia es en el tratamiento de aguas para evitar la emisión de contaminantes en los tanques de aireación y de malos olores en el tratamiento de lodos. Finalmente, numerosas empresas que manejan solventes utilizan procesos de biofiltración para limitar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (imprentas e industrias químicas). (Thalasso & Pineda Olmedo, 2002)

¹ La combustión constituye un proceso apropiado para la eliminación de compuestos orgánicos transformándolos en dióxido de carbono y vapor de agua. Cuando se trata de eliminar gran parte de los gases tóxicos que tienen olores fétidos, la combustión ha de realizarse a alta temperatura y con tiempo de retención controlado, por lo que el costo de combustible puede ser elevado. Para temperaturas más bajas, suele utilizarse la combustión en presencia de un catalizador, por lo general un metal de transición depositado en una matriz de alúmina. Este tipo de combustión suele emplearse en la eliminación de compuestos que contienen fenoles, formaldehído, azufre, etc.

² La absorción es una operación en la cual uno o más componentes de una mezcla gaseosa son transferidos en forma selectiva a un líquido no volátil. Es una técnica factible de la recuperación para los solventes que son fácilmente solubles en agua o un compuesto orgánico con un punto de ebullición alto. (Camargo Trillos, 2011)

³ La adsorción se emplea para remover COV's de corrientes de gas con baja o media concentración. En este proceso las moléculas de gas que pasan a través de un lecho de partículas sólidas son selectivamente retenidas por fuerzas de atracción, las cuales son más débiles y menos específicas que las de las uniones químicas, considerándose un proceso de adsorción física. (Camargo Trillos, 2011)



Figura 4. Usos de la biofiltración.

Se han creado biofiltros caseros cerrados a grande escala (con controles de 100 m³ de material filtrado) para la remoción de contaminantes y compuestos tóxicos, así como para el control de malos olores. Así mismo, se han fabricado biofiltros abiertos para el tratamiento de las **aguas** residuales y procesamiento de alimentos. Por otro lado, se han fabricado biofiltros a menor escala (<20 m³ de material filtrado), para procesos como la extracción de vapores o en industrias que generan flujos pequeños de gases contaminados. (Van Lith, Leson, & Michelsen, p. 37)

La mayoría de los gases expulsados a tratar provienen de fábricas para la industria en general, así como del tratamiento de residuos y el procesamiento de alimentos. Todos estas fuentes de emisión producen volúmenes que contienen bajas concentraciones (regularmente menos de 1000 ppm de metano) de gas contaminado. (Leson & Winer, p. 1048). Algunos ejemplos se muestran a continuación:

Aplicaciones		
Adhesivos	Industria automotriz	Petroquímica
Agricultura y ganadería	Industria cafetalera	Pintura
Almacenamiento químico	Industria del petróleo	Plantas de asfalto
Aromas y perfumes	Industria gráfica e imprentas	Procesamiento de alimentos
Composta	Industria química	Pulpa y papel
Fundición	Muebles y madera	Tratamiento de aguas residuales

Figura 5. Aplicaciones de la biofiltración (Leson & Winer, p. 1048).

6.1.5 Eliminación biotecnológica de malos olores

Los malos olores son los principales responsables de la problemática socioambiental, que es generada por el aumento de la frecuencia de los casos de proximidad de las fuentes de emisión (granjas, pantanos, humedales, lagunas estancadas, plantas de tratamiento de agua residuales, plantas de potabilización y rellenos sanitarios) con pue-

blos, ciudades y centros turísticos. Esto desencadena, en algunos casos, serios problemas de salud y de bienestar público, que podrían limitar el uso intensivo y adecuado de instalaciones indispensables, pero malolientes.

Los compuestos volátiles son los responsables de los malos olores en el aire; estos son el resultado de la descomposición microbiológica de la materia orgánica contenida en agua y sólidos residuales. Muchos de los compuestos responsables de los malos olores son perceptibles a muy bajas concentraciones, del orden de partes por billón (ppb).

Una de las ventajas más importantes de los tratamientos biológicos para el tratamiento de aire maloliente sobre los procesos fisicoquímicos, es que pueden llevarse a cabo a temperaturas del medioambiente (10-40°C) y a presiones atmosféricas, con mucho menor consumo de insumos y energía.

Los biofiltros han sido aplicados con éxito en el tratamiento de malos olores en plantas de tratamiento de aguas residuales, así como en plantas de compostaje¹ (eliminación de H₂S). (González Sánchez & Morgan Sagastume, 2013)

6.1.6 Biofiltración en México

La biofiltración no se ha desarrollado en Latinoamérica tanto como en Estados Unidos, Canadá o Europa. La razón principal se debe a la ausencia de tecnología, así como de materiales orgánicos disponibles para ser utilizados como biofiltros. (Corona Hernández, Ramírez López, Dendooven, Rangel, & Thalasso, p. 259)

En México, existen algunos sistemas de biofiltración a nivel industrial. La implementación de estos sistemas de biofiltración a nivel industrial fue realizada por el grupo industrial CYDSA, S.A. de C.V. a partir de la experiencia adquirida a nivel laboratorio y planta piloto de biorreactores diseñados y operados por el grupo de bioprocesos² del Área de Ingeniería Química de la UAM-Iztapalapa. (Cárdenas González, Revah Moiseev, Hernández Jiménez, Martínez Sánchez, & Gutiérrez Avedoy, p. 51)

A continuación, se presentan las características de los sistemas de biofiltración a nivel industrial instalados en México:

- Biofiltro de lecho fijo para el tratamiento de olores de una planta de tratamiento de aguas residuales (Monterrey, México). Capacidad de tratamiento de aire: 300 m³/min.
- Biocyd-3M. Dos reactores en serie, diseñado para concentraciones altas de CS₂ (sulfuro de carbono).

¹ El compostaje es un proceso de transformación de la materia orgánica para obtener composta, un abono natural. Esta transformación se lleva a cabo mediante un compostador, sin ningún tipo de mecanismo, ningún motor ni ningún gasto de mantenimiento. La basura diaria que se genera en los hogares contiene un 40% de materia orgánica, que puede ser reciclada y retornada a la tierra en forma de humus para las plantas y cultivos.

² Un bioproceso es cualquier proceso que usa células vivas completas o sus componentes (por ejemplo enzimas, cloroplastos, etc.) para obtener los cambios físicos o químicos deseados.

- Biocyd-3. Posiblemente el biofiltro de escurrimiento más grande del mundo. Se utiliza para la remoción de azufre, CS_2 y H_2S (Monterrey, México). Capacidad de tratamiento de aire: $800\text{ m}^3/\text{min}$.
- Biocyd-VOC. Biofiltro de lecho escurrido diseñado para el tratamiento de COV's provenientes de una imprenta (Monterrey, México).

En relación con la investigación básica y aplicada en biofiltración en nuestro país, existen algunos grupos de análisis cuyas líneas de investigación se han enfocado tanto al estudio de fenómenos físicos, químicos y biológicos de estos procesos como al diseño y aplicación de sistemas de biofiltración. Se han realizado estudios para tratar corrientes de aire contaminado como son: el tolueno, el acetato de etilo, BTEX¹, el metanol, el isopropanol, el hexano, los vapores de gasolina, MTBE² y el etanol a nivel laboratorio y algunos a escala planta piloto. Actualmente, existen algunos grupos de investigación enfocados a la biofiltración de aire contaminado entre los que se encuentran los siguientes (Cárdenas González, Revah Moiseev, Hernández Jiménez, Martínez Sánchez, & Gutiérrez Avedoy, p. 52):

- Grupo de tratamiento biológico de aire contaminado de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAMI), que en colaboración con el *Institute de Reserche pour le Développement* (IRD), ha desarrollado trabajo de investigación básico y aplicación en la técnica de biofiltración.
- Grupo de investigación en tratamiento biológico del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), en donde también se realizan estudios sobre materiales utilizados en biofiltración.
- Grupo de biotecnología del Instituto Mexicano del Petróleo, específicamente en el área de biotecnología del petróleo, en donde se busca optimizar la degradación de compuestos recalcitrantes como el MTBE utilizando microorganismos obtenidos de diversos lugares contaminados con gasolina.
- Grupo de tratamiento de compuestos orgánicos volátiles del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental del Instituto Nacional de Ecología, en donde se realizan estudios para la caracterización de materiales utilizados en sistemas de biofiltración y estudios a nivel piloto para el tratamiento de fuentes fijas intermitentes de compuestos orgánicos volátiles tóxicos.

¹ BTEX es un acrónimo que significa benceno, tolueno, etilbenceno y xileno.

² El éter metil tert-butílico, metil tert-butil éter, metil terc-butil éter, por sus siglas, MTBE, es un líquido inflamable de olor característico desagradable.

6.3 Diseño de un biofiltro

Quien adquiere un biofiltro, se enfrenta a una diversa selección de sistemas que varían en el diseño, composición, vida útil, medio filtrante, tipo de proceso, y consecuentemente, en su desempeño y costo. La mayoría de los compradores de biofiltros, tienen poca experiencia en el campo de la biofiltración, ya que es una tecnología emergente y es difícil elegir el adecuado. (Van Lith, Leson, & Michelsen, p. 37)

Para el correcto diseño y operación de un biofiltro, se requiere considerar diversos aspectos técnicos, los cuales se describen a continuación.

6.3.1 Microorganismos

Existen muchos grupos de microorganismos que sirven como degradantes de los contaminantes en el aire, como las bacterias, actinomicetos¹ y hongos. Los materiales de composta generalmente contienen más organismos de este tipo que otros biofiltrantes como suelos o la turba. El crecimiento y metabolismo de los microorganismos en un biofiltro dependen primordialmente de la presencia de oxígeno disuelto en la biopelícula, la ausencia de compuestos que son tóxicos para ellos, la disponibilidad de nutrientes, humedad suficiente, así como rangos adecuados de temperatura y pH. El correcto control de estos parámetros son esenciales para la operación eficaz de un biofiltro.

La biofiltración depende primordialmente de organismos heterótrofos, que utilizan los compuestos de los gases contaminados como fuentes de carbón y energía. Como resultado, al introducir estos compuestos a través del material filtrante, la población de contaminantes es metabolizada. Para los compuestos orgánicos biodegradables más comunes, la aclimatación tardará alrededor de diez días. Para compuestos menos biodegradables, pueden someterse a tratamiento de inoculación que reduce el período de aclimatación.

La mayoría de las fuentes de contaminantes (fábricas, industria en general), no operan de manera continua. Por ende, se ha cuestionado si la biofiltración se ve afectada al presentarse períodos de inactividad. Según estudios, los lechos filtrantes pueden sobrevivir por períodos de al menos 2 semanas sin sufrir ninguna reducción significativa de actividad microbiana. Si el material filtrante provee nutrientes suficientes, se puede esperar hasta dos meses de correcta actividad. Para evitar la pérdida de oxígeno o deshidratación, se debe realizar una aireación periódica del material filtrante. (Leson & Winer, p. 1049)

¹ Los actinomicetos son microorganismos del suelo caracterizados por ser organismos intermedios entre los hongos y las bacterias. Tienen aspecto filamentoso y, al igual que los hongos, la capacidad de segregar antibióticos (estreptomina, aureomicina, terramicina, cloromicetina y tetraciclina). Por otro lado, como las bacterias, los actinomicetos realizan numerosas reacciones bioquímicas y participan en el proceso de formación de humus y en la alimentación de las plantas al mineralizar la materia orgánica. Algunas especies pueden fijar nitrógeno atmosférico en asociación con algunas especies de árboles. Su número en el suelo agrícola es elevado (un millón a cien millones por gramo de tierra). Su peso medio es de una tonelada por hectárea.

6.3.2 Tamaño y configuración

Un biofiltro para el control de contaminantes en el aire consiste en uno o más lechos de material biológicamente activo, principalmente de materiales formados por compostas, turba o suelos. Los lechos filtrantes son regularmente de 1 metro de altura. (Leson & Winer, p. 1046)

Existen varios tipos de biofiltros de acuerdo a su configuración: abierto de lecho sencillo, cerrado de lechos múltiples, etc. El tipo de construcción e instalación dependerá principalmente en la relación del espacio disponible y el volumen del material filtrante. Existen otros criterios como el costo de inversión y mantenimiento entre los distintos sistemas.

La mayoría de los biofiltros construidos son sistemas de un solo lecho, así como biofiltros abiertos en múltiples niveles, en caso de que el espacio sea reducido. Algunos fabricantes europeos han diseñado sistemas cerrados, generalmente de lechos apilados entre sí, y aunque son sistemas más caros, requieren un mantenimiento mínimo. Así mismo, existen limitantes en cuanto al uso permitido del espacio para este tipo de sistemas, por lo que los sistemas de biofiltros verticales (apilados), es una buena opción.



Figura 6. Biofiltro abierto de múltiples lechos, en configuración vertical. (Harmor, Hoff, & Rieck-Hinz, 2014)

El rango de área a utilizar para los biofiltros está desde los 10 a los 2,000 m², con emisiones de gases con flujos entre los 1000 y 150,000 m³/h. (Leson & Winer, p. 1048)

La gran masa del material filtrante generalmente es suficiente para asegurar que no existan fugas durante la carga máxima de flujo de gas, esto significa que la altura de los lechos debe atender al flujo promedio de gas y no a un máximo instantáneo. (Leson & Winer, pp. 1049-1050)

6.3.3 Reactor del biofiltro

Un reactor para un biofiltro consiste en un sistema de aire distribuido dentro en un contenedor parcial o completamente cerrado, con una o más capas (lechos) del material filtrante biológicamente activo y con una base humidificadora.

En los biofiltros abiertos, se utilizan paredes prefabricadas o realizadas en sitio, regularmente de concreto, aunque también existen otros materiales utilizados, como acero inoxidable o madera. Por otro lado, existen sistemas instalados en excavaciones, por lo que no cuentan con paredes fabricadas.



Figura 7. Biofiltro de lecho abierto, con reactor de madera. (Harmor, Hoff, & Rieck-Hinz, 2014)

Para el caso de biofiltros cerrados, generalmente se construyen con acero inoxidable (estructura y paredes interiores), o bien, de concreto prefabricado o colado en sitio. Para sistemas pequeños (<60 m³), se utilizan tamaños estándar de contenedores de acero, así como tanques de polietileno o fibra de vidrio reforzada. Para el sistema de circulación del aire, se utiliza tubería de PVC.



Figura 8. Biofiltro cerrado prefabricado. (BMB Technologies)

Generalmente, los biofiltros abiertos son más económicos de construir que los cerrados. Así mismo, permiten un fácil acceso para la carga y descarga del material filtrante. Como los de lechos múltiples no poseen este tipo de ventajas, es más común observar la construcción de biofiltros de lecho simple (es decir, un solo nivel). Por otro lado, los biofiltros de contenedores completamente cerrados son muy utilizados en los Estados Unidos y Europa para el control de COV's y para el control de contaminantes en el aire. Estos proveen mejor aislamiento y control de la temperatura, así mismo, protegen a los biofiltros de la lluvia y del crecimiento no deseado de plantas en el medio filtrante. También permiten un monitoreo más preciso de los gases tratados. En cuanto a espacio se refiere, los biofiltros con contenedores cerrados son la mejor opción, ya que requieren mucho menos área para su instalación. (Van Lith, Leson, & Michelsen, pp. 43-44)

6.3.4 Material filtrante

Para determinado gas emitido, el volumen de material filtrante requerido para un funcionamiento eficaz, dependerá de la relación entre el rango de flujo (gasto) del aire contaminado, la concentración de contaminantes contenidos en el gas y la capacidad de degradación del material filtrante. El rango común de degradación de aire contaminado va de los 10 a 100 g/m³h. De existir un gran número de compuestos degradables en el aire contaminado, la capacidad de degradación del material filtrante podría ser mayor que la que sucede con un solo compuesto (Leson & Winer, p. 1050).

Para que un biofiltro opere correctamente, el material filtrante debe cumplir las siguientes características:

1. Proveer las condiciones ambientales óptimas para contener a la población microbiana, y así lograr un alto índice de degradación.
2. El tamaño de partículas y la estructura de los poros deben asegurar grandes áreas de reacción, así como bajas caídas de presión.

3. La compactación de los lechos o capas debe ser la mínima, esto reducirá la necesidad de mantenimiento y reemplazo del material filtrante.

Debido a que este material ofrece condiciones favorables para la población microbiana, los materiales de composta a base de residuos municipales, restos de madera, hojas, etc. son los más utilizados. Otros materiales, como la arcilla porosa o esferas de poliestireno pueden ser utilizadas para aumentar el área de reacción y duración del material biofiltrante. (Leson & Winer, p. 1050) Existen también otros tipos de materiales filtrantes, como rocas porosas, tierra de diatomeas, perlita y materia orgánica como la cáscara de cacahuate, de arroz o de coco. (Dirección General de Comunicación Social, 2012)



Figura 9. Materiales utilizados como biofiltrantes.

Según estudios, las recomendaciones para la elección del material filtrante son los siguientes:

- pH entre 7 y 8.
- Volumen de poro mayor al 80%
- Un D_{60}^1 mayor a 4mm.
- Contenido de materia orgánica mayor al 55%

¹ La caracterización granulométrica de una muestra de suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos o partículas que lo componen. Uno de los métodos para su caracterización, es mediante el análisis con mallas, que consiste en obligar a pasar la muestra de suelo a través de un conjunto de mallas o tamices de alambre y calcular el porcentaje en peso de los retenidos en cada malla. Con base en los porcentajes de peso de los retenidos en cada malla, se determinan los porcentajes acumulados del material que pasa por cada malla, restando de 100% el porcentaje retenido en la primera malla. A este valor se le resta el porcentaje parcial retenido en la segunda malla, y así sucesivamente. D_{60} es el diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 60% del suelo, en peso.

Usualmente, la composta de materiales reciclados es barata; así mismo, evita la generación de desperdicio, ya que puede ser reutilizado como composta o como material de relleno. Antes de ser colocado, es necesario que el material filtrante se someta a pruebas de laboratorio para detectar compuestos potencialmente dañinos (ejemplo, metales pesados), esto para evitar realizar tratamientos de residuos peligrosos durante el reemplazo del material. Se debe asegurar también la correcta aireación previa del material antes de su colocación, para evitar malos olores durante el inicio del proceso.

Por lo general, un material biofiltrante compostado suministra suficientes nutrientes inorgánicos, por lo que no requerirá la adición de nutrientes, salvo en algunos casos. (Leson & Winer, p. 1050)

6.3.5 Condicionamiento del gas contaminado

Debido a que los microorganismos degradantes en los biofiltros pueden ser contaminados por la presencia de compuestos tóxicos (ejemplo, el SO_2), así como por el exceso de concentración de contaminantes, el gas contaminado debe ser previamente analizado. En algunos casos, este gas puede ser adecuado para su biofiltración, al eliminar su contenido tóxico o al modificar el sistema de ventilación.

Dependiendo del tipo de gas contaminado y sus componentes, la concentración máxima de COVs deberá rondar entre los 3000 a 5000 mg/m^3 . Una carga alta de partículas contaminantes en el gas contaminado puede afectar el funcionamiento del biofiltro; también podría causar obstrucciones en su sistema de ventilación, así como en las partículas del material filtrante. Si el gas contiene polvo, el humidificador podría formar de lodos, y por lo tanto, originaría un mal funcionamiento del mismo.

La biofiltración depende primordialmente en la actividad de microorganismos mesófilos¹, y en algunos casos, termófilos² (organismos que pueden soportar condiciones extremas de temperatura relativamente altas, por encima de los 45°C). Mientras que los índices de degradación generalmente aumentan con la temperatura, este incremento puede ser afectado por la falta de solubilidad en agua de los contaminantes. Otra consideración importante, es que a altas temperaturas, la población de organismos tenderá a reubicarse hacia los organismos termófilos; al cerrar el sistema, podría provocarse la muerte de estos, por lo que el período de adaptación inicial³ del proceso de biofiltración podría alargarse.

Para resultados óptimos, es recomendable que la temperatura del gas contaminado, se mantenga entre los 20°C y los 40°C. Gases con mayor temperatura, deberán ser enfriados. Por otro lado, cuando el gas contiene temperaturas menores a los 10°C, la eficiencia de degradación podría reducirse, por lo que es recomendable utilizar métodos

¹ Microorganismos mesófilos: organismo cuya temperatura de crecimiento óptima está entre los 15 y los 35°C.

² Microorganismos termófilos: organismos que pueden soportar condiciones temperatura relativamente altas, por encima de los 45°C.

³ Adaptación inicial: período de tiempo que requiere una población microbiana (encargada de realizar el proceso de la biofiltración) en alcanzar su capacidad óptima de remoción de contaminantes. (Deviny, Deshusses, & Webster, 1999)

de calentamiento del gas, antes de ser introducido al biofiltro. (Leson & Winer, p. 1050)

6.3.6 Control de humedad

Es la característica más importante para la correcta operación del material filtrante. De no asegurar la humedad, el gas contaminado se secaría y saldría rápidamente del lecho filtrante. La humedad es esencial para la supervivencia y metabolización de los microorganismos encargados de la degradación de contaminantes; un nivel poco óptimo puede resultar en la compactación del material, por lo tanto la fuga de aire sin tratar, así como la formación de zonas anaeróbicas que podrían emitir compuestos olorosos. El nivel óptimo de humedad está entre el 40% y 60% del peso del material filtrante.

En la mayoría de las configuraciones de un sistema de biofiltración, el gas contaminado es humidificado a través de rociadores de agua. El grado de saturación deseable es del 95%. El consumo de agua de un biofiltro es bajo, normalmente se utiliza entre 20 a 40 litros de agua por cada 3,000 m³ de gas tratado.

La humidificación directa del material filtrante (además del gas contaminado), es también recomendado. En zonas áridas, para los biofiltros de sistema abierto, se debe asegurar el riego en las capas superiores del material.

Respecto al drenado de material, este provendrá de las capas de material filtrante por medio de tuberías de drenaje por debajo del mismo. El material expulsado contendrá algunos de los contaminantes menos biodegradables; en el caso de contaminantes ácidos, se caracterizará por su bajo pH. En los casos en que sea necesario, el exceso de humedad puede ser recirculado dentro del sistema. Así mismo, para prevenir la formación de sólidos, se deben realizar descargas periódicas del drenaje del biofiltro. (Leson & Winer, p. 1051)

6.3.7 Control del pH

Debido a que los microorganismos degradantes prefieren un nivel de pH específico, los cambios del mismo pueden afectar drásticamente su desempeño. El pH en materiales de composta generalmente se encuentra entre 7 y 8, el cual es el nivel mejor aceptado por las bacterias y actinomicetos. Dependiendo del tipo de microorganismos presentes, la caída en el nivel de pH podría destruir su población y reducir o eliminar la capacidad de degradación del material filtrante. (Leson & Winer, p. 1051)

6.3.8 Presión y consumo de energía

En un biofiltro, es necesario el uso de un compresor de aire para contrarrestar la contrapresión del sistema. Debido a la compactación gradual del material filtrante, eventualmente existirá mayor presión y se tendrá que incrementar el consumo de energía, hasta finalmente tener que reemplazar el material. Para evitar fugas y reemplazo de material, se debe realizar un monitoreo constante de la instalación del sistema. (Leson & Winer, p. 1051)

6.3.9 Mantenimiento

Se debe realizar una revisión diaria de los elementos primordiales para el funcionamiento de un biofiltro: temperatura y humedad del gas contaminado, así como la temperatura y contrapresión del biofiltro. Los biofiltros abiertos no controlan automáticamente el control de la humedad o el pH, por lo que es necesario realizar estos chequeos. Así mismo, para este tipo de sistemas, se le debe dar vuelta al material filtrante de manera periódica, así como reemplazarlo completamente después de unos años. Por otro lado, el sistema de distribución de aire debe ser limpiado con la misma frecuencia.

En el caso de los sistemas cerrados, su diseño está pensado para reducir su mantenimiento, además de que es más complicada tener acceso a él. Debido a esto último, debe existir un buen control de la humedad en el material filtrante, así como elegir uno que se compacte lentamente. (Leson & Winer, p. 1051)

6.3.10 Fallas potenciales de un sistema de biofiltración

Un sistema de biofiltración puede fallar por diversas razones, las cuales se mencionan a continuación (Leson & Winer, pp. 1051-1052):

- Humedad insuficiente, que es la principal causa por la cual falla un biofiltro. Esto puede resultar en, por ejemplo, un mal diseño o funcionamiento de los humidificadores.
- Mal dimensionamiento del biofiltro, debido a no conocer correctamente las características del gas contaminante.
- Componentes en el gas contaminantes que son tóxicos para los microorganismos del material filtrante.
- Componentes en el gas contaminante que formen lodos en el sistema de humidificación y que provoquen la obstrucción del sistema de aire.
- Compactación rápida del material filtrante que, en combinación con una mala humidificación, puede causar fisuras que dejarán escapar a los contaminantes.
- Degradación por acidez de la población microbiana debido a la caída en el nivel de pH.

Considerando lo anterior, diseñar correctamente un sistema de biofiltración puede evitar una potencial falla en el mismo. Una buena elección de microorganismos (material filtrante) puede también reducir costos, ya que se mejora su diseño y, por ende, el tamaño del sistema podría reducirse. Por otro lado, elegir un buen material filtrante evitaría su reemplazo tan seguido, lo que se traduciría en ahorros en tiempo y mantenimiento.

6.5 Contaminante modelo

Como se mencionó anteriormente, para que un gas contaminante pueda ser utilizado en un sistema de biofiltración, debe cumplir con las siguientes características:

- Eliminar el contenido tóxico que pueda afectar al material filtrante.
- Concentración máxima de COVs entre 3000 y 5000 mg/m³
- Grado de saturación del 95%.
- Temperatura entre los 20°C y los 40°C.
- Asegurar que no contenga polvo o partículas que puedan generar lodos en el sistema.

El contaminante elegido para ser utilizado en el sistema de biofiltración aquí presentado fue el metanol, el cual se describe a continuación.

6.5.1 Metanol

Según el American Methanol Institute, el metanol ha sido un químico industrial ampliamente usado desde el inicio del siglo XIX, este se produce a partir del gas natural y anhídrido carbónico utilizando un catalizador a base de cobre. Actualmente se utiliza como reactivo para la obtención de una gran variedad de compuestos orgánicos como formaldehído, ácido acético, cloro metano, y metil ter-butil éter (MTBE), también se usa como solvente en pinturas, limpiadores de carburadores de automóviles, en el proceso de fabricación de plásticos y enchapados de madera, soluciones de lavado de parabrisas y otros artículos. También es usado como combustible en ciertos vehículos (por ejemplo, automóviles de carrera y modificados). Las descargas de metanol se dan principalmente a la atmósfera; sin embargo, aproximadamente se deposita el 20% directamente a la tierra y aguas superficiales o subterráneas (el volumen descargado al ambiente representa aproximadamente el 1% del metanol total producido). (Pirnie, 1999, citado en Ramírez Piña, 2008).

El metanol, además de ser un compuesto hidrófilo, tiene un peso molecular bajo y está conformado por elementos básicos para la biomasa, es decir, es un compuesto orgánico volátil de fácil degradación y manejo, además el grado de remoción del mismo es controlado por un proceso de orden cero (Hutomo & Pinder, 2006 citado en Ramírez Piña, 2008), de aquí que sea apropiado para ser usado como contaminante modelo (Ramírez Piña, 2008). Una ventaja adicional es que cuando se producen ácidos en un proceso de biofiltración, se tiene como consecuencia una caída de la acidez en el medio, el metanol mitiga esta caída del pH y puede ser hasta cuatro veces más lenta de lo esperado, ya que este compuesto consume oxígeno en su degradación, y por lo tanto se tiene una menor formación de sulfatos, nitratos y cloratos (en caso de su presencia en el biofiltro) que forman sus respectivos ácidos, además de que refuerza la remoción de estos compuestos y por lo tanto permite una mejor estabilidad y desempeño del sistema. (Zhang, Liss, & Allen, 2007, citado en Ramírez Piña, 2008)

6.5.2 Toxicidad del metanol para el ser humano

La inhalación de vapores de metanol puede causar irritación de las membranas mucosas, vértigo, náusea, dolores de cabeza y visión borrosa si ocurre exposición a niveles altos. Mientras la inhalación es la ruta más común de exposición al cuerpo, la ingestión representa el riesgo de salud agudo más serio debido al volumen alto de metanol que puede ingerirse. Los efectos de ingestión siguen el mismo modelo descrito para la inhalación. En el caso del contacto con la piel, el metanol se absorbe prontamente en la capa dérmica con exposición repetida y causa eccema, irritación y escamadura. Sin embargo, la evidencia actual refiere que los efectos tóxicos agudos del metanol en los humanos y algunos animales sólo ocurren con dosis altas (> 10 mg/L). (Pirnie, 1999, citado en Ramírez Piña, 2008).

6.5.3 Toxicidad del metanol en las poblaciones microbianas

Se ha aislado un número grande de bacterias que utilizan metanol de una gran variedad de fuentes naturales, y la mayoría de estas se ha identificado como bacterias aeróbicas gram-negativas. Pero existe un límite de envenenamiento para los microorganismos contenidos en un biofiltro, este se puede conocer al aumentar la concentración de metanol a la entrada hasta observar una caída severa en la eficiencia de remoción. En general, concentraciones altas del alcohol (10 a 15%) se considera que son tóxicas para la mayoría de los microorganismos. (Pirnie, 1999, citado en Ramírez Piña, 2008).

6.6 Material biofiltrante modelo

6.6.1 Cáscara de cacahuete

La cáscara de cacahuete se acumula en grandes cantidades y tiene un bajo contenido de aceite, proteína y ceniza por lo que no tiene un valor comercial como forraje para ganado. Este subproducto agrícola tiene varios usos, tales como combustible para calderas y generadores eléctricos, como alimento y camilla para ganado, soporte de crecimiento para hongos, como absorbente en derrames de varias sustancias oleosas y en la fabricación de carbón activado. (Woodroof, 1973, citado en Ramírez Piña, 2008).

A causa de su contenido de celulosa, la cáscara de cacahuete constituye una buena materia para la producción de furfural¹. El residuo de la hidrólisis que consigue esta producción puede servir después de una descomposición natural y una mezcla con fosfato tricálcico, para la confección de abono. (Giller y Silvestre, 1970, citado en Ramírez Piña, 2008).

Este producto tiene probablemente una alta resistencia y además un buen contenido de proteína y cenizas, lo cual lo hace un material con un buen nivel de elemento nutricionales y puede ser usado como soporte en un biofiltro. (Ramírez Piña, 2008).

¹ El compuesto químico furfural es un aldehído industrial derivado de varios subproductos de la agricultura, maíz, avena, trigo, aleurona, aserrín. El nombre furfural es por la palabra latina furfur, "salvado", en referencia a su fuente común de obtención.



Figura 10. Cáscara de cacahuete.

La cáscara de cacahuete es una alternativa potencial de la turba para su uso en la biofiltración, especialmente en regiones donde la turba no está disponible a bajo costo o en grandes cantidades. Contiene un tamaño de partícula regular, una gran área de superficie específica, baja densidad de abultamiento (*low bulk density*), un pH neutral, un alto número de microorganismos, alta capacidad de retención de agua (WHC¹), nutrientes suficientes para el crecimiento microbiano, bajo riesgo de taponamiento o atascamiento, así como bajas caídas de presión. (Corona Hernández, Ramírez López, Dendooven, Rangel, & Thalasso, 2003).

¹ WHC (por sus siglas en inglés para *Water Holding Capacity*), se refiere a la capacidad de retención de agua de un material determinado.

7. Diseño preliminar del sistema

Como se mencionó en capítulos anteriores, el primer acercamiento que se tuvo para el desarrollo del sistema de biofiltración, fue cuando el asesor presentó el diagrama de cómo opera un biofiltro.

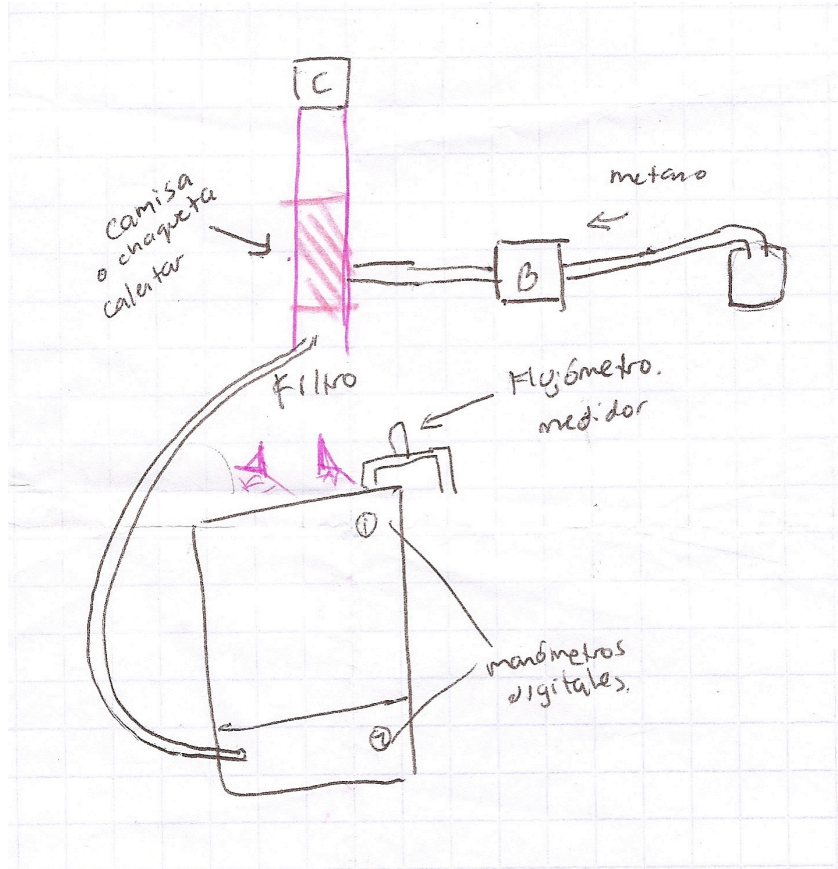


Figura 11. Diagrama representativo de un biofiltro.

En el diagrama se observan las partes fundamentales para el correcto funcionamiento de un sistema de biofiltración: biofiltro, compresor, bomba y contaminante (metanol). Existen otros elementos mostrados, que aunque no son fundamentales para el sistema, sí lo son para medir las condiciones del mismo: calentador, flujómetros, manómetros y accesorios (mangueras, tuberías).

Para lograr el diseño correcto de un sistema de biofiltración, se buscó imitar un modelo similar al que se muestra a continuación.

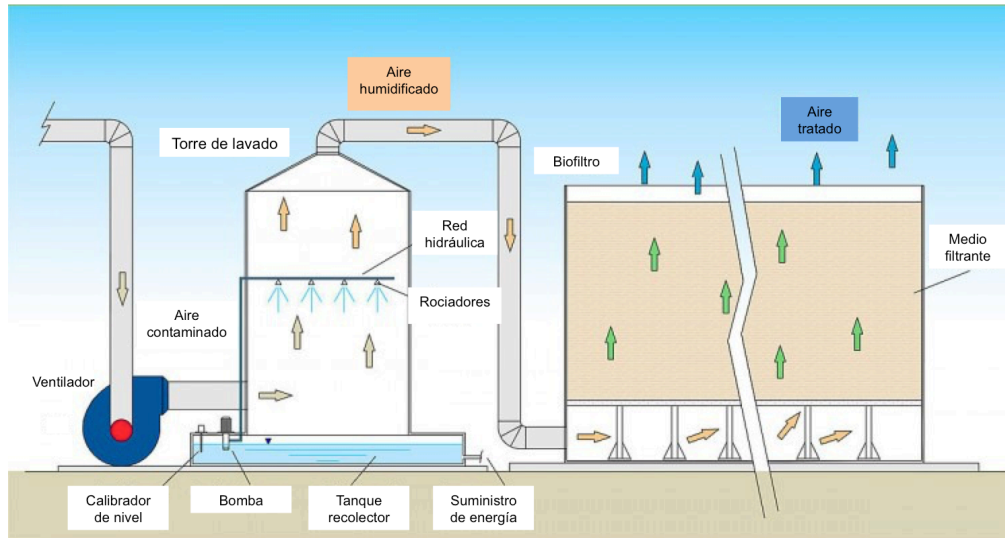


Figura 12. Diagrama descriptivo de un biofiltro cerrado. (GRT DARMA)

En el diagrama, se muestra un sistema en donde una fuente de aire contaminado, previamente humidificado, ingresa a través de un material filtrante, el cual se encarga de descomponer, retener los contaminantes, y finalmente expulsar el aire purificado. Las partes del sistema observado son:

- Compresor.
- Humidificador.
- Tanque de recolección.
- Reactor.
- Material filtrante.
- Tuberías y accesorios.

Evidentemente, este tipo de biofiltro se maneja a niveles industriales. La intención de este trabajo es simular un ambiente en laboratorio, es decir, llevar a menor escala el proceso de la biofiltración. Por esta razón, el equipo a utilizar debe ser distinto; incluso existen partes que fueron descartadas, como el sistema de humidificación del gas contaminado, debido a que la humedad puede ser controlada de otra forma. Durante las revisiones con el asesor de este trabajo, se comentó que un método sencillo para controlar la humedad, es extendiendo las cáscaras de cacahuate sobre una superficie, humedeciéndolas con agua por medio de un rociador, hasta alcanzar una apariencia y sensación al tacto similar al de una roca húmeda.

Como se describió en el capítulo anterior, el contaminante modelo es el metanol, y el material biofiltrante la cáscara de cacahuate; estos son los elementos básicos del sistema. Ahora bien, otra parte fundamental es el reactor del biofiltro, es decir, el contenedor que soporta al material filtrante y donde se desarrolla el proceso de la biofiltración. Más adelante se describe el diseño del mismo.

Los equipos adicionales y accesorios, los cuales sirven para asegurar las condiciones del sistema son:

- Compresor de aire.

- Bomba.
- Calentador.
- Mangueras, tuberías y válvulas.
- Recipientes.
- Otros.

Finalmente, se determinó la implementación de equipos de apoyo para la medición y análisis del proceso, los cuales, a pesar de no ser esenciales para el funcionamiento del mismo, son primordiales para su demostración. Estos equipos son:

- Medidor de flujo.
- Medidor de contaminación o detector multigases.

7.1 Diagrama del sistema

En primera instancia, se debió elaborar un esquema del funcionamiento y partes que componen el sistema de biofiltración que se pretende diseñar. A continuación se muestra el diagrama del sistema propuesto.

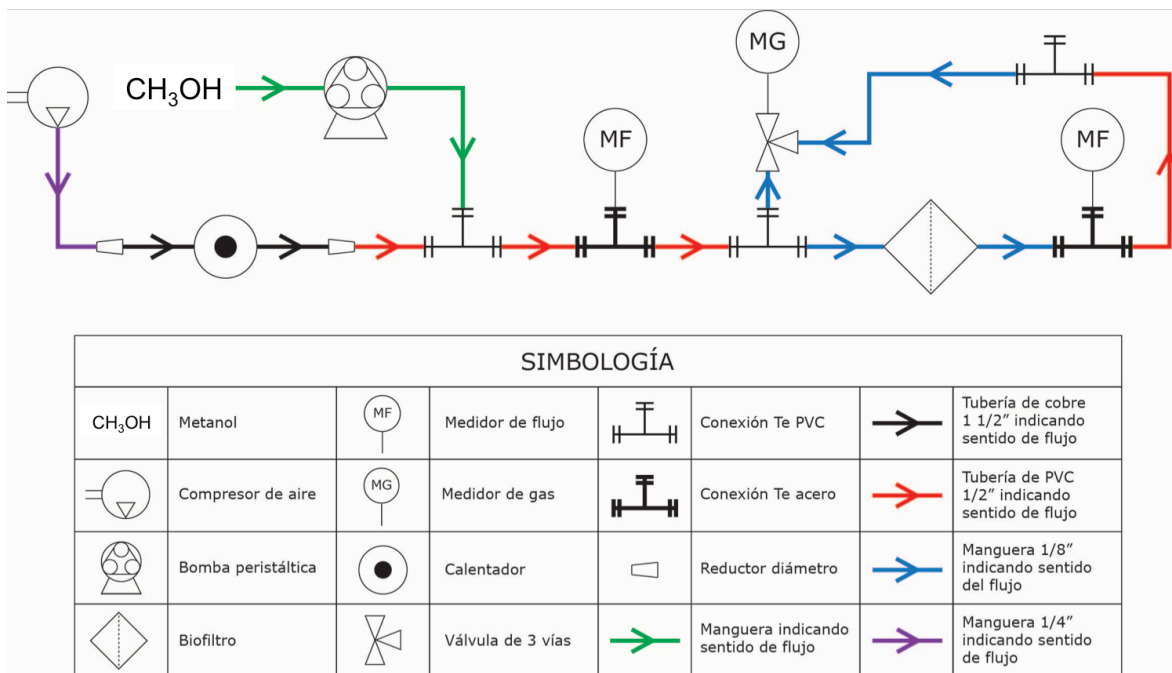


Figura 13. Diagrama descriptivo del sistema propuesto.

Como se muestra, los diferentes dispositivos tienen una función propia cuya intención es simular las condiciones reales de un sistema de biofiltración. En los siguientes capítulos se realiza una descripción de los equipos aquí referidos. CH₃OH

7.3 Bocetaje

Para la propuesta del modelo de biofiltración, siempre se trató de procurar que la secuencia de los elementos principales se mantuviera intacto. Un mal acomodo, incluso desde el bocetaje, podría resultar en un diseño mal resuelto.

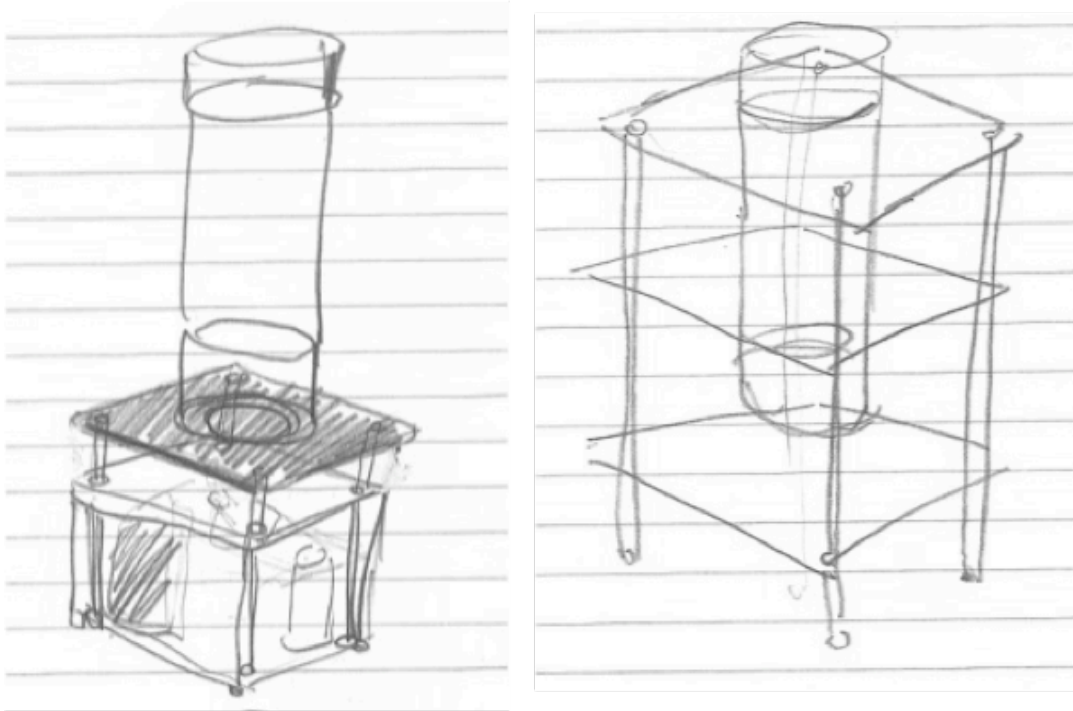


Figura 14. Propuestas para el biofiltro (configuración vertical). En uno se observan elementos del sistema debajo de una base.

Existieron muchos bocetos y dibujos, a continuación se muestra algunos que integran de manera conceptual la mayoría de sus elementos, tratando de cumplir con el objetivo principal, que es obtener un modelo demostrativo.

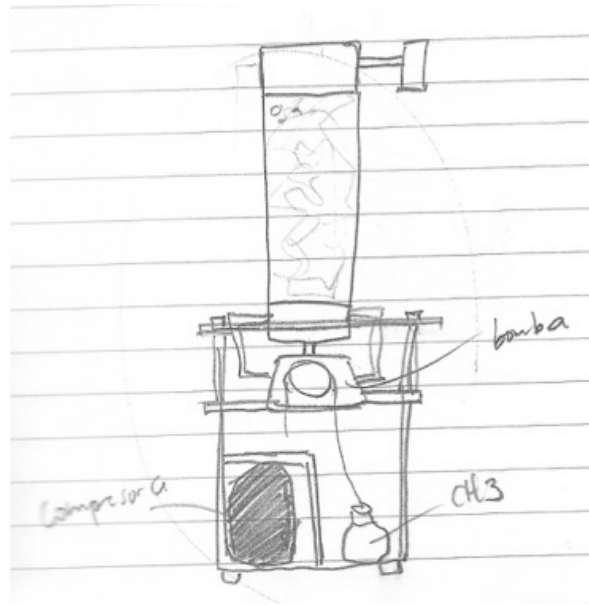


Figura 15. Configuración vertical para el sistema de biofiltración.

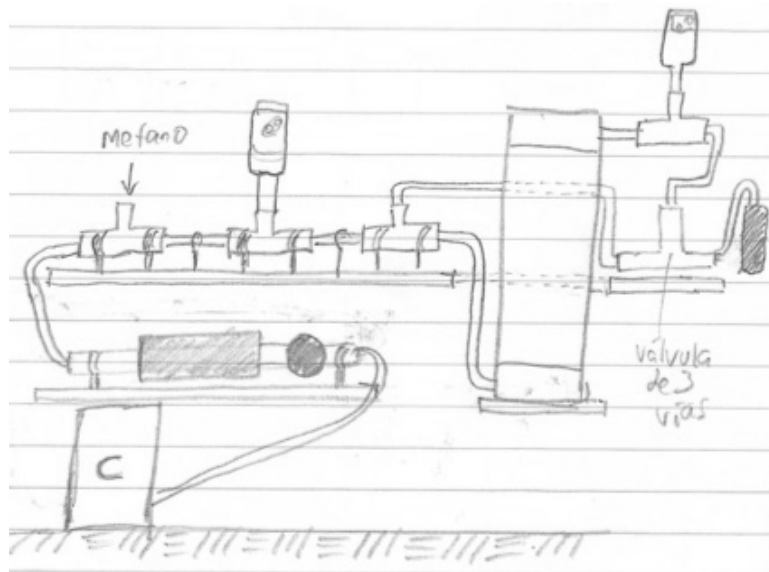


Figura 16. En el dibujo se muestra el biofiltro, medidores, compresor y otros equipos y accesorios esenciales para el sistema de biofiltración.

7.4 Equipo secundario

Como se ha establecido anteriormente, en un sistema típico de biofiltración existen dispositivos secundarios que permiten su correcta operación. A nivel industrial, se manejan compresores, humidificadores, tanques colectores, así como sistemas de ventilación del gas contaminado. Ahora bien, debido a que el sistema aquí mostrado es a escala de laboratorio, se debieron elegir equipos especializados para imitar las condiciones de un sistema de biofiltración real. El equipo es el siguiente:

Capítulo 7. Diseño preliminar del sistema

- Bomba peristáltica para el flujo del agente contaminante, el cual fue metanol líquido.
- Compresor, el cual inyecta aire no contaminado al sistema.
- Calentador, para controlar la temperatura del efluente.
- Accesorios: tuberías, válvulas, mangueras y otros accesorios que permiten el correcto flujo del gas a través del sistema.

7.4.1 Bomba peristáltica

La bomba peristáltica es un tipo de bomba de desplazamiento positivo, es decir, tiene una parte de succión y otra de expulsión, por lo que es utilizada para bombear una gran variedad de fluidos. El fluido es transportado por medio de un tubo flexible colocado dentro de una cubierta circular de la bomba.

Las bombas peristálticas operan de forma similar a la estrategia que utilizan los cuerpos de los seres vivos para desplazar líquidos en su interior. Se comprime un conducto flexible en forma progresiva desplazando el contenido a medida que la compresión va avanzando por el conducto. Para emular el movimiento muscular progresivo, el mecanismo más utilizado está compuesto de 2 ó 3 rodillos que giran en un compartimiento circular comprimiendo en forma progresiva una manguera especial flexible. En este sistema, el contenido que está siendo bombeado nunca entra en contacto con el mecanismo, sólo con el interior del conducto. El bombeo además puede ser tan lento como uno lo desee. (EcuRed)



Figura 17. Bomba peristáltica WT600-2J utilizada en el sistema de biofiltración presente. Sus dimensiones y especificaciones se pueden ver en los anexos. Fuente: (EcuRed)

7.4.2 Compresor

Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tales como gases y vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido, en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él,

convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.



Figura 18. Compresor Truper COMP-POR-2.5 utilizado en el sistema de biofiltración presente. Sus dimensiones y especificaciones se pueden ver en los anexo (Fuente: www.truper.com).

7.4.3 Calentador

Este dispositivo fue fabricado especialmente en un taller para su integración al sistema de biofiltración. Está formado por dos capas de lámina de acero inoxidable, las cuales son calentadas por medio de 3 resistencias. El dispositivo incluye termostato, interruptor y cables. Permite que el flujo emitido por el compresor de aire conserve siempre una temperatura deseada, ya que cuenta con un regulador.

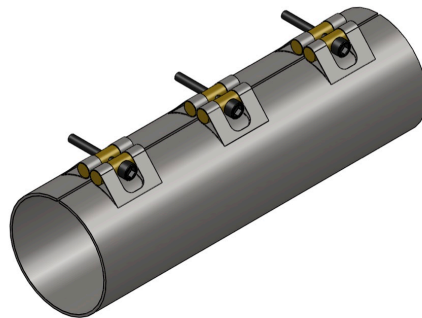


Figura 19. Calentador utilizado en el sistema de biofiltración presente. Sus dimensiones y especificaciones se pueden ver en los anexos (Anexo: Planos).

7.4.4 Accesorios

Se refiere a todo tipo de dispositivos necesarios para la conexión y operación del equipo del sistema de biofiltración: tuberías, mangueras, válvulas, cables, espigas, etc. En los planos de conexiones, así como de instalación eléctrica, se pueden observar los elementos y materiales que se utilizaron en el sistema.

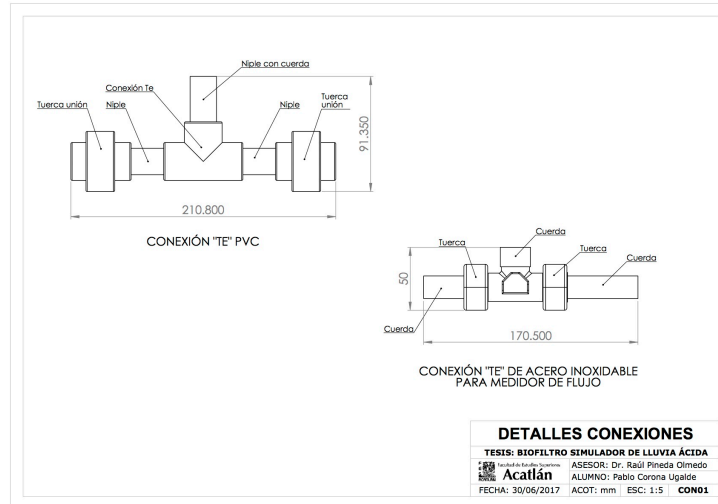


Figura 20. Conexiones para el sistema de flujo de gas. (Anexo: Planos).

7.5 Equipo adicional de medición

Para asegurar la eficacia del proceso de biofiltración, se propuso la inclusión de equipos especializados de laboratorio para su medición y análisis. Este tipo de dispositivos son prácticos y se lograron adaptar de forma exitosa al sistema.

7.5.1 Medidor de flujo

Un caudalímetro es un instrumento de medida para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición del gasto másico. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores de caudal, medidores de flujo o flujómetros.

El medidor de flujo elegido para el sistema utiliza el principio calorimétrico para la medición: consiste en dos sensores de temperatura integrados, un sensor se calienta de manera continua con la ayuda de un elemento de calefacción integrado (bobinado de alambre) y mide la temperatura del elemento de calefacción. El segundo sensor mide la temperatura del fluido en la tubería. Como resultado, se obtiene una diferencia de temperatura entre los dos sensores que se transmite al módulo electrónico. Cuanto mayor es el caudal en el tubo, menor es la diferencia de temperatura, debido al enfriamiento provocado por movimiento del fluido. Las moléculas del fluido, que pasan por la punta de la sonda, recogen los “paquetes de calor” para su procesamiento. La cantidad de moléculas que pasan aumenta continuamente con la velocidad del fluido. (bloginstrumentacion.com)

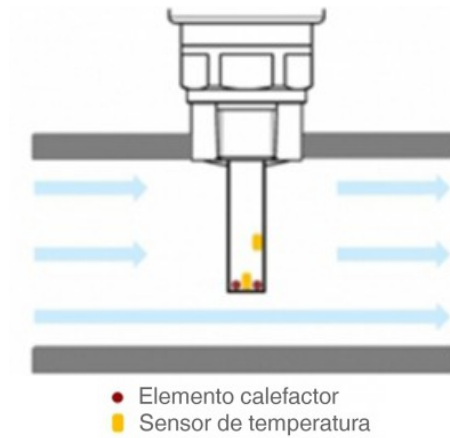


Figura 21. Diagrama de funcionamiento de un caudalímetro con funcionamiento calorimétrico.

El equipo a utilizar para la medición de flujo fue el modelo un modelo SAxx00 de la marca IFM, ver detalles en *anexos: planos*.



Figura 22. Modelo SAxx00 de la marca IFM, ver detalles en Anexos: planos.

Para su correcta operación dentro del sistema, el sensor del equipo debe ir conectado directamente en el flujo del gas contaminado, es decir, dentro de la tubería. La imagen mostrada a continuación muestra el modo de operación correcto para un flujo determinado.

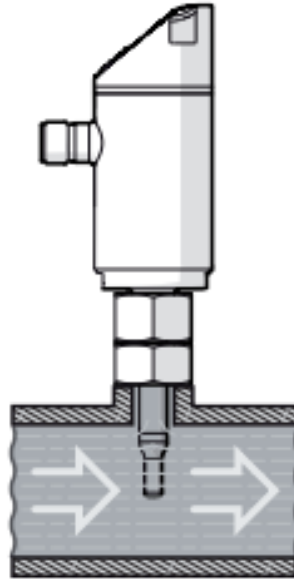


Figura 23. Correcta operación en tubería horizontal: la punta del sensor debe estar completamente en contacto con el fluido. (IFM, Manual de operación).

7.5.2 Detector de gases

Como complemento para la correcta medición y análisis de las partículas contaminantes a la entrada y salida del sistema de biofiltración, se optó por la elección de un equipo detector de gases. El objetivo principal de un detector de gases o de un sistema de gas es alertar al usuario de una situación potencial de riesgo por medio de una señal sonora o visual. Se utiliza principalmente en industrias como la del acero, la agricultura, el petróleo, minería y tratamiento de aguas, entre otras. (JYRSA),



Figura 24. Uso de un detector de gases para el ingreso a una zona contaminada.

Ahora bien, se puede adaptar este tipo de dispositivos para el sistema de biofiltración, ya que el objetivo principal es detectar si el biofiltro es capaz de transformar un gas contaminado a limpio. El equipo de detección elegido para el sistema de biofiltración fue un Dräger X-am 5000, el cual cuenta con sensores que miden de manera fiable gases y vapores inflamables, así como O_2 y concentraciones peligrosas de gases tóxicos, vapores orgánicos, mercaptanos y aminas (Dräger).



Figura 25. Modelo X-am 5000 de la marca Dräger, ver detalles en anexos: planos.

Para adaptar este dispositivo al sistema en cuestión, se utiliza un accesorio adicional que funciona como bomba y que cuenta con una salida para la conexión de una manguera de distintos diámetros.

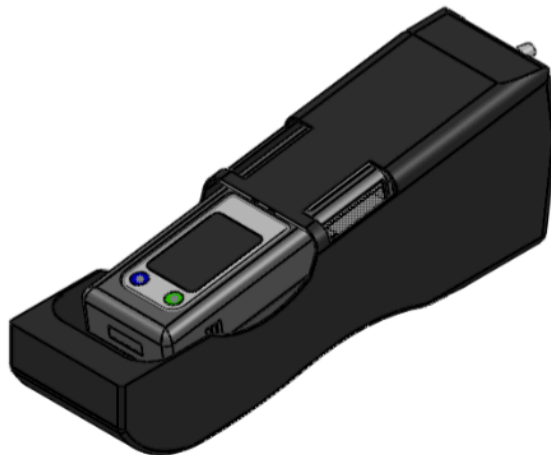


Figura 26. Medidor de gases con adaptación de accesorio de bombeo.

7.5.3 Obtención del equipo

Una de las limitantes para el desarrollo de este tipo de trabajos es el financiamiento para de los equipos, debido a su alto costo y dificultad de obtención. Se ingresó esta investigación a evaluación por el PAIDI (Programa de Apoyo a la Investigación para el

Desarrollo y la Innovación), programa de fomento a la investigación creado en 2014 con recursos extraordinarios de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, y con el respaldo de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, destinado a fomentar la investigación aplicada bajo el esquema I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación), que promueve la inversión en investigación para generar desarrollo e innovaciones de alto impacto social.

Debido a la importancia en el ámbito social y ambiental, en agosto de 2015 se obtuvo el visto bueno por el Comité de Fomento a la Investigación para su financiamiento económico:

“DR. RAÚL PINEDA OLMEDO, Responsable Académico del Proyecto Cacallotech, notificado mediante el oficio numero FESA/COFI/003/2015, de que el proyecto recibirá financiamiento económico conforme a los Criterios de Operación para el Programa de Apoyo a la Investigación para el Desarrollo y la Innovación (PAIDI), acepto y me comprometo a desarrollar las actividades en él contempladas, así como llevar a cabo en lo sucesivo el seguimiento del mismo, rendir el informe y presentar los productos comprometidos...” ver Anexo: Concurso PAIDI, para mayor detalle.

7.6 Conceptualización del sistema

Un sistema por sí solo no puede operar correctamente si no se planea de forma adecuada. En capítulos anteriores se describieron las parte esenciales para el sistema de biofiltración, sin embargo lo más importante y complicado a la vez, es la integración de las mismas.

Ahora bien, si la finalidad de este trabajo es lograr un sistema demostrativo, partimos de la base que el concepto final deberá responder a 3 cuestiones básicas:

- ¿A quién va dirigido?
- ¿Dónde se planea utilizar?
- ¿Cuál es la finalidad del sistema?

En las siguientes secciones se responden a estos cuestionamientos de manera que se logre comprender el concepto buscado para la conceptualización del sistema.

7.6.1 Usuario final

Uno de los objetivos particulares de este trabajo habla específicamente sobre a quién va dirigido el sistema de biofiltración. Es evidente que al ser un sistema demostrativo, el usuario de los dispositivos será personal que realiza una investigación, estudio o demostración de la biofiltración, llámese estudiante y/o docente. Por lo tanto, los elementos a utilizar deberán ser de fácil funcionalidad y comprensión. Un sistema demasiado complejo no es la mejor opción.

7.6.2 Lugar de uso

Desde un inicio, se planteó la idea de utilizar el sistema como una herramienta más para la docencia en la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, especialmente para la aplicación en estudios ambientales.

En la carrera de Ingeniería Civil, y como parte de su plan de estudios, existen laboratorios para la experimentación de materias como Química, Física, Hidráulica (tuberías y canales), Resistencia de Materiales, Geología, Mecánica de Suelos, Mecánica de Rocas, entre otras; sin embargo no existen laboratorios a nivel licenciatura para la experimentación en el campo de la ingeniería ambiental, la cual es una ciencia aplicada de gran importancia hoy en día. El contar con un sistema demostrativo de biofiltración, podría impulsar la creación de un espacio para prácticas de laboratorio de las materias de ingeniería ambiental.

Por lo pronto, al no contar con un espacio específico para la colocación del sistema, éste deberá ser utilizado y adaptado al espacio y mobiliario con el que se cuenta actualmente en los laboratorios de ingeniería civil de la facultad; es por ello que el sistema deberá contar con la característica de ser ergonómicamente transportable.

7.6.3 Funcionamiento

Esta es la cuestión más sencilla de responder. El sistema debe permitir que se lleve a cabo el proceso de biofiltración correctamente. Debido a que es un modelo a escala, las condiciones se deberán adaptar con el equipo y accesorios adecuados. La separación y acomodo de los elementos del sistema, deberá ser suficiente para asegurar su funcionamiento y permitir su manipulación.

7.6.4 Concepto final

Tomando en cuenta lo anterior, el diseño deberá cumplir con lo siguiente:

- *Ergonómico*: toda interacción entre usuario y objeto no debe dificultar su uso.
- *Transparente*: no se refiere a que sea traslúcido, sino a que sus elementos resulten visibles y fáciles de comprender.
- *Lógico*: el diseño deberá ser simple y lineal, que muestre sus elementos de una manera ordenada.
- *Práctico y ligero*: diseño que permita su fácil reubicación y/o transportación.
- *Estable*: realizado con materiales que sustenten los equipos y accesorios de manera segura.

Se realizaron múltiples propuestas para el diseño final del sistema, sin embargo sólo una logró combinar los elementos anteriormente descritos. La clave para el desarrollo del diseño aquí presentado, fue asemejar el sistema a un **diagrama esquemático**, que es la mejor manera de explicar su funcionamiento. Un diagrama refleja orden, secuencia y revela claramente cada una de las partes que lo integra.

Capítulo 7. Diseño preliminar del sistema

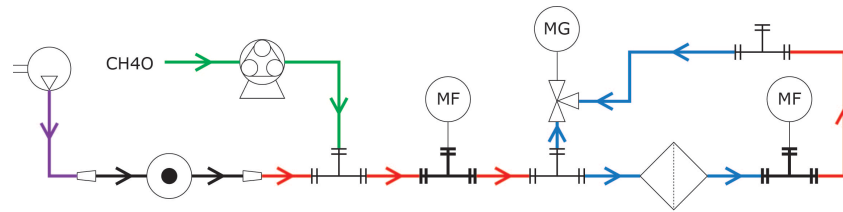


Figura 27. Diagrama del funcionamiento del sistema.

En el diagrama realizado para la comprensión del funcionamiento, se observa la secuencia y posición de cada uno de los elementos en el sistema de biofiltración. Ahora bien, no basta con la mera colocación del equipo sobre una base o mueble, es necesario desarrollar un sistema de soporte que integre eficazmente cada una de las partes. En el siguiente capítulo se muestra cómo fue resuelto el diseño final.

8. Diseño final del sistema de biofiltración

Este capítulo trata sobre cómo se integraron las partes descritas anteriormente, dentro de un sistema de biofiltración. Para buscar atender el concepto del diseño, se llevaron a cabo diversas propuestas, sin embargo sólo una integró lo que se quería lograr: un diseño integral, funcional y estético.

8.1 Diseño del biofiltro (reactor)

Uno de los objetivos de este trabajo, y el motivo principal del desarrollo del biofiltro, es que sea un modelo demostrativo, para ello es importante que el material filtrante (cáscara de cacahuate), así como cada una de las partes del dispositivo sean estéticas y funcionales.



Figura 28. Configuración típica de un biofiltro de prueba. (Ramírez Piña, 2008)

8.1.1 Diseño

Durante el desarrollo del diseño del reactor, se realizaron múltiples propuestas de la configuración, tamaño, materiales, forma y funcionamiento del dispositivo.

Se propuso una configuración vertical para el biofiltro, debido a que es la más típica, así como la que mejor aprovecha el espacio disponible para todo el sistema. De igual forma, al ser vertical, el flujo del gas que pasa a través del material filtrante es de for-

Capítulo 8. Diseño final del sistema de biofiltración

ma ascendente, permitiendo de manera natural que las porosidades del biofiltrante sean ocupadas. En una configuración horizontal, las partículas del aire contaminado pueden quedar acumuladas en las partes más altas del dispositivo, por lo que no sería tan eficiente. Ahora bien, para una configuración horizontal con un flujo ascendente, se necesitaría un área mucho más grande, en comparación con una configuración vertical, lo que significaría un sistema más robusto.

Se eligió una forma cilíndrica para el biofiltro, principalmente por las ventajas que conllevaría su fabricación. Debido a que debe ser demostrativo, se determinó necesario que fuera un dispositivo que permitiera el fácil acceso a todas sus partes, por lo que un sistema de roscado hermético fue la solución ideal.



Figura 29. Diseño final del reactor.

Como se observa, las partes del reactor para el sistema de biofiltración, fueron las siguientes:

- Cámara contenedora del material filtrante.
- Base receptora de humedad, producto de la biofiltración.
- Cubierta receptora del aire biofiltrado.
- Rejilla entre base y cámara, para evitar el paso de material filtrante (cáscaras de cacahuete) y permitir el flujo de aire.
- Conductos para la entrada y salida del flujo de gas.

8.1.2 Funcionamiento

Para que el dispositivo funcione correctamente, se debió cumplir con las siguientes características:

- Sellado hermético, para evitar fugas de gas a la entrada y/o salida.
- Cámara contenedora traslúcida, que aunque no es una característica necesaria para su correcta operación, sí lo es para mostrar las partes que lo componen.
- Piezas del dispositivo enroscables, para permitir su fácil separación y limpieza, así como llenado de material filtrante (cáscaras de cacahuete).
- Piezas ergonómicas para su manipulación y transporte.
- Espigas de entrada y salida del gas contaminado/ tratado.

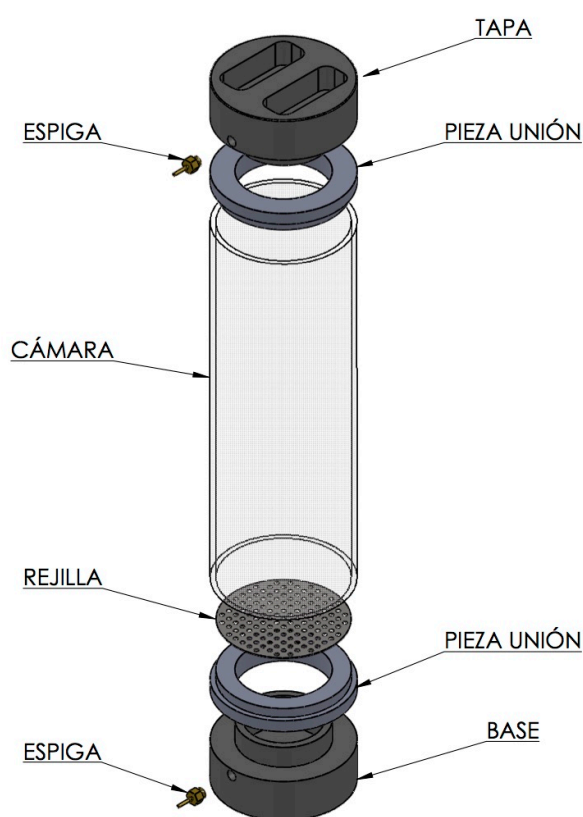


Figura 30. Explosivo del reactor.

8.1.3 Materiales y fabricación

Los materiales propuestos, así como el procedimiento para la fabricación del dispositivo fueron los siguientes:

- Cámara central: realizado en un taller de maquinado mediante el doblado de lámina de acrílico de 6 mm, con unión a base de costura. Se eligió este material debido a la facilidad con la que se puede trabajar, así como por su disponibi-

Capítulo 8. Diseño final del sistema de biofiltración

dad y bajo costo en el mercado. Tiene una excelente resistencia a los rayos UV, por lo que no se amarillenta ni se fisura al entrar en contacto con la luz solar. Así mismo, tiene excelentes propiedades mecánicas. Por otro lado, su superficie permite una fácil limpieza.

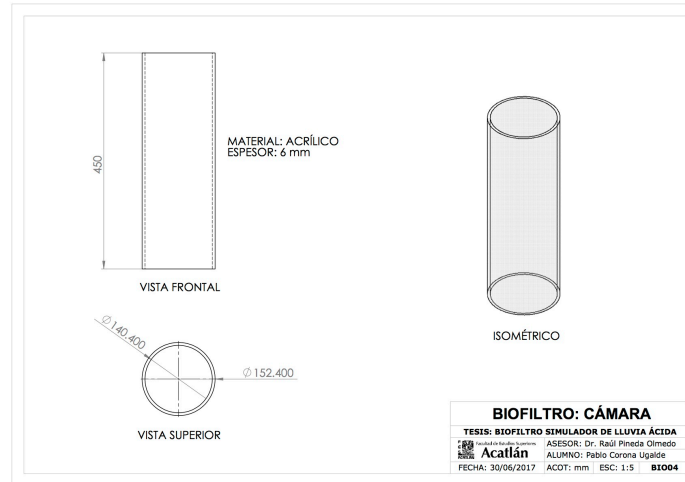


Figura 31. Plano de taller de cámara central del reactor (ver Anexos: Planos para mayor detalle).

- **Tapa y base:** se realizaron estas piezas mediante el proceso de torneado en un taller de maquinado. El material con el que se realizaron fue el nylamid¹.

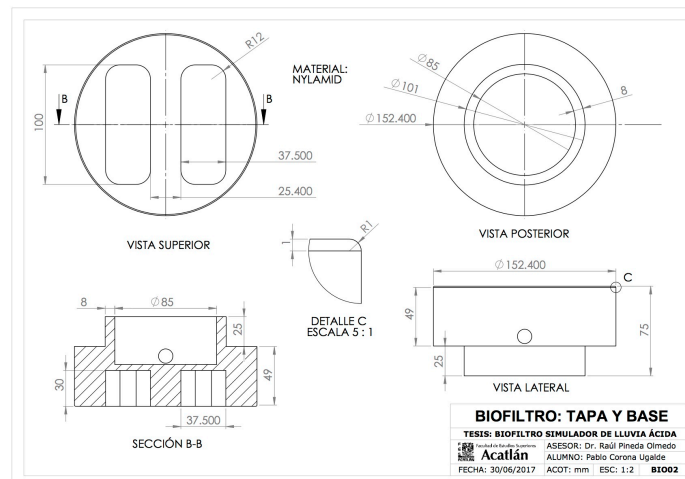


Figura 32. Plano de taller de tapa y base del reactor (ver Anexos: Planos para mayor detalle).

- **Pieza unión:** como primera prueba, se propuso la fabricación de una cámara central de acrílico que contara con cuerdas para el roscado con su base y tapa,

¹ El nylamid es un plástico proveniente de la familia de las poliamidas. Su combinación de propiedades mecánicas y eléctricas, además de su amplia gama de presentaciones y medidas, lo han hecho el material ideal para la fabricación de diversas piezas en el ramo industrial. Sus principales características son: resistente a altas temperaturas (hasta 110°C aprox.), aislante térmico y eléctrico, excelente resistencia mecánica, apto para estar en contacto con alimentos y facilidad de maquinado. (Levinson)

sin embargo, aunque el acrílico es un material resistente, también es quebradizo, por lo que al someterlo al torno (para crear la cuerda) se astillaba o fisuraba, así que esta opción fue descartada. Como alternativa, se propuso la fabricación de dos piezas de unión entre la base, la cámara central y la tapa. Estas uniones consistieron también en dos piezas torneadas de nylamid.

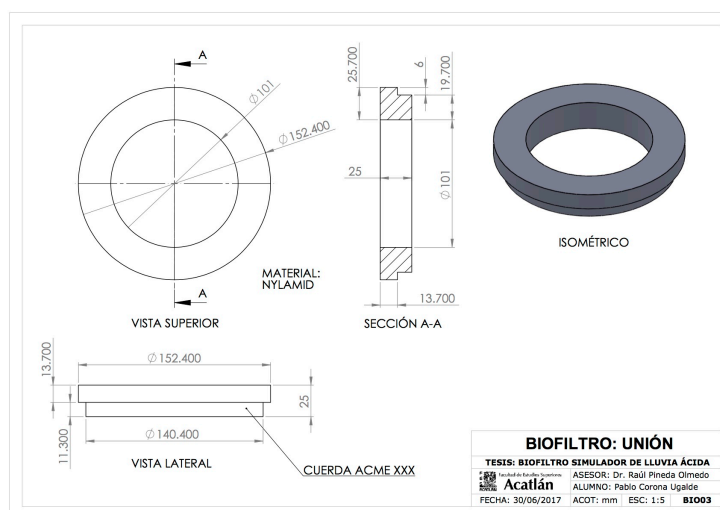


Figura 33. Plano de taller de pieza unión del reactor (ver Anexos: Planos para mayor detalle).

- Para la unión entre las piezas (base + unión y tapa + unión), se fabricaron cuerdas tipo ACME en un torno de precisión, así mismo, se colocaron sellos de neopreno en el interior de las mismas, para asegurar su hermeticidad.
- Se propuso la colocación de una rejilla de acero inoxidable con un diámetro suficiente (5 mm) para no permitir la fuga del material filtrantes, así como permitir el correcto flujo ascendente del gas contaminado.

Los planos de taller para la fabricación de las piezas antes mostradas, se pueden observar en el apartado de Anexos: Planos.

8.3 Diseño del sistema

Como se mencionó anteriormente, para lograr un modelo que asimile un diagrama de flujo, no basta con la colocación de los equipos y elementos sobre el suelo o sobre un base cualquiera, fue necesario realizar una propuesta funcional y atractiva para el fin último, que es lograr un sistema demostrativo de biofiltración.

Como se explicó en el inicio de este trabajo, uno de los primeros pasos fue el boceto del modelo, a continuación se muestra uno de los más representativos:

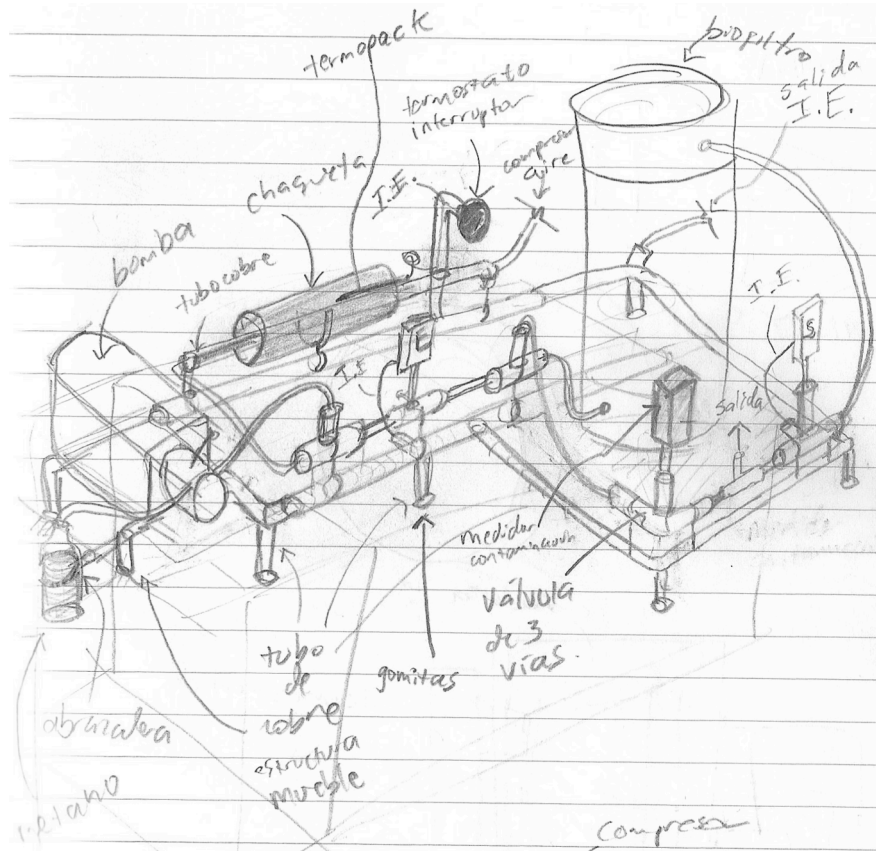


Figura 34. En el dibujo se muestra el boceto de lo que fue la propuesta final del diseño. En el boceto se observa la mayoría de las partes del sistema de biofiltración.

8.3.2 Configuración final

A continuación se muestra el diseño final integrando todos los elementos antes estudiados: equipo principal, secundario, accesorios y equipos de medición.

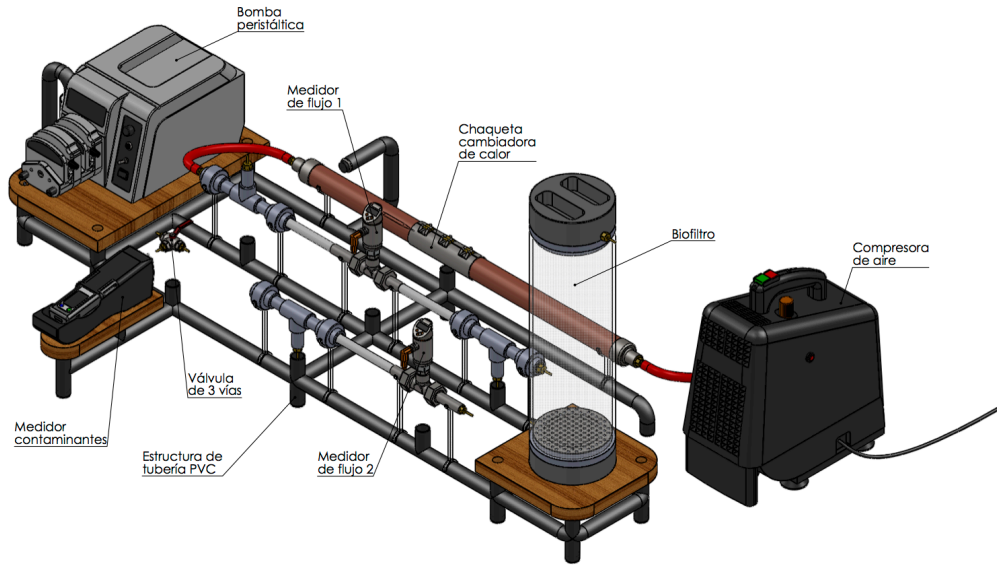


Figura 35. Diseño final del sistema de biofiltración.

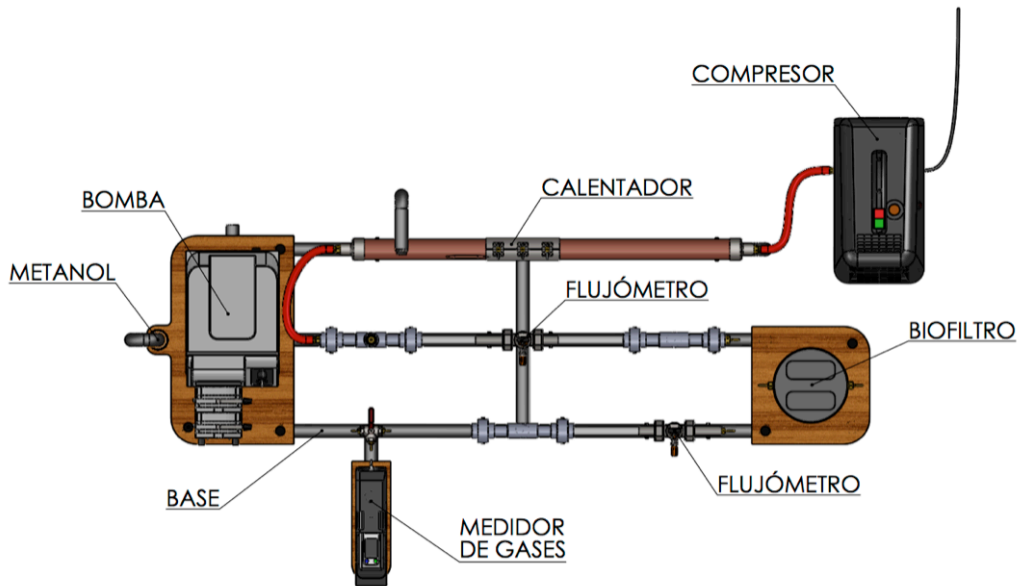


Figura 36. Esquema del sistema de biofiltración. Para mayor detalle, ver Anexo: Planos.

Como se observa, tenemos un diseño que muestra todos sus elementos de manera secuencial y ordenada, buscando un modelo de *diagrama esquemático* previsto en la conceptualización del capítulo anterior. La intención de esta configuración es mostrar el funcionamiento del sistema al revelar cada una de sus partes. Ahora bien, fue im-

portante determinar cómo se realizarían las instalaciones del sistema, para ello es importante referirse al capítulo 8.3.6

8.3.3 Soporte del modelo

Como se observa en las imágenes anteriores, los elementos descansan sobre una base estructurada a partir de tubos (en el dibujo se describe el material de cobre, sin embargo el material final fue PVC). La ventaja de este material y propuesta es que se pueden realizar mucho arreglos, además de que ofrece resistencia y es fácil de trabajar.

La característica más importante de este arreglo, es que va de acuerdo al concepto buscado en el diseño, que es la búsqueda de un modelo que asemeje a un diagrama esquemático.

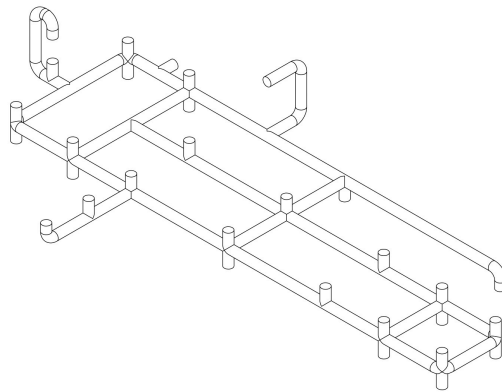


Figura 37. Esquema básico del soporte del sistema de biofiltración. Material propuesto: PVC de 1" de diámetro. Para mayor detalle, ver Anexo: Planos.

Una de las características mejor planeada para este arreglo, es que las instalaciones pueden ir ocultas dentro de la tubería, para lograr tener un sistema más ordenado.

8.3.4 Bases para equipos y accesorios

El equipo especializado requiere de un soporte distinto al de otros elementos, es por ello que se adaptaron superficies de madera de acuerdo a las dimensiones del equipo.

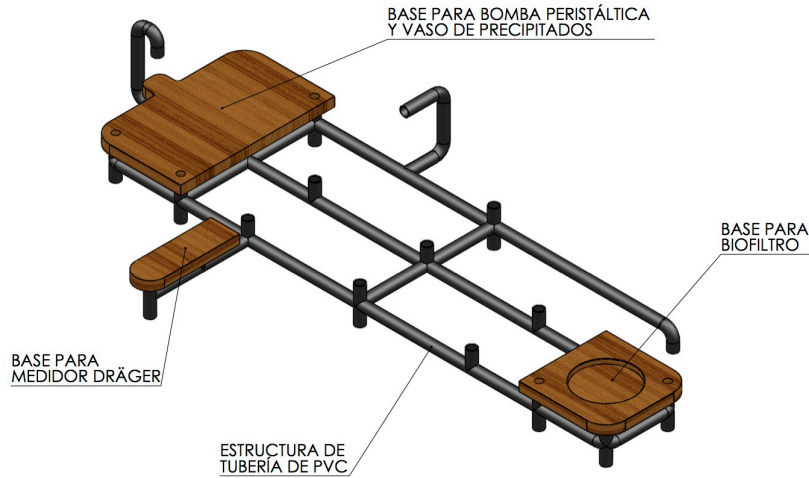


Figura 38. Modelo que muestra las bases utilizadas para los equipos del sistema. Para mayor detalle, ver Anexo: Planos.

Por otro lado, para asegurar la colocación de las tuberías para el sistema de biofiltración, se propusieron soportes de media caña fabricados de acrílico.

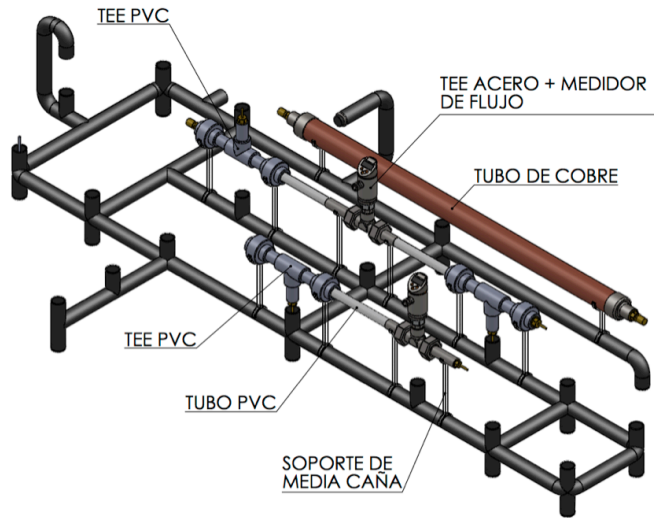


Figura 39. Modelo que muestra los soportes para las tuberías del sistema. Para mayor detalle, ver Anexo: Planos.

8.3.6 Instalaciones del sistema

Para la correcta operación del sistema de biofiltración, se diseñó la estructura de soporte pensando a su vez en cómo se integrarían los sistemas hidráulicos y eléctricos. Una de las características fundamentales que debe cumplir el modelo, es que sea estético y funcional a la vez, es por ello que toda instalación debe ser oculta en la medida de lo posible, para ello, las mangueras y cables del sistema hidráulico y eléctrico, respectivamente, deberán ser colocados como se muestra en los diagramas siguientes.

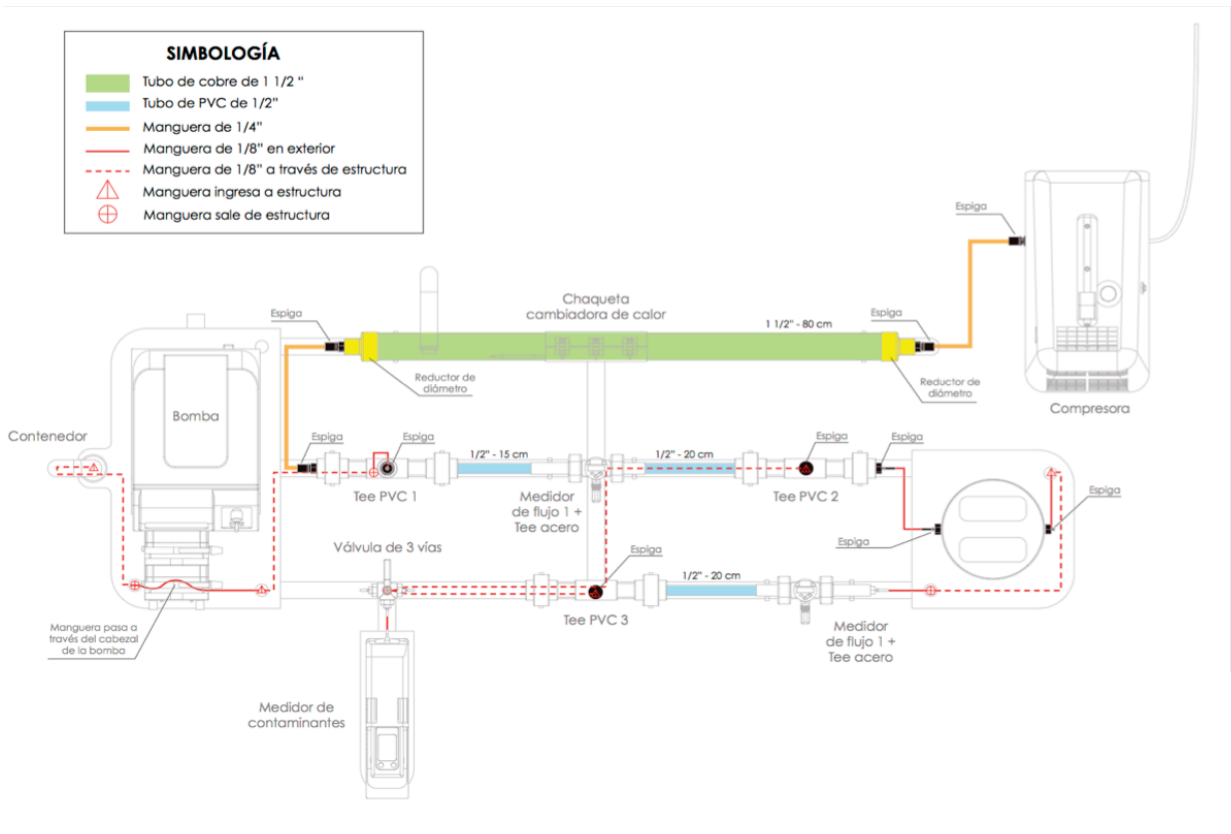


Figura 40. Conexiones hidráulicas del sistema de biofiltración. Ver Anexo: Planos para mayor detalle.

Como se observa en el plano, existen elementos accesorios no mencionados hasta ahora, necesarios para el bombeo y transferencia del material contaminado/tratado, estos:

- *Vaso de precipitados*: recipiente para el contenido del metanol que se bombeará al sistema.
- *Válvula de 3 vías*: consiste en una válvula de dos entradas y una salida, la cual permite cortar un flujo determinado para redirigir el otro y viceversa. Deberá estar conectada por medio de mangueras al medidor de gases, tanto a la entrada (gas contaminado), como a la salida (gas tratado).

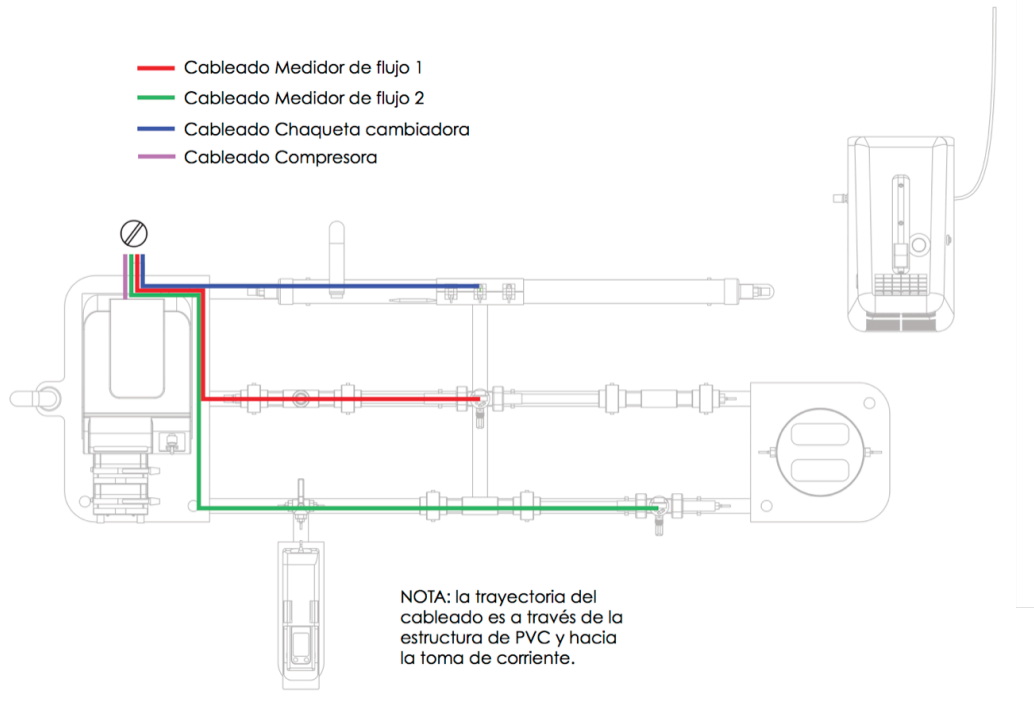


Figura 41. Conexiones eléctricas del sistema de biofiltración. Para mayor detalle, ver Anexo: Planos.

8.4 Modelo del sistema

Para asegurar que el diseño propuesto fuera congruente con las dimensiones y características de los equipos, fue importante la realización de un modelo tridimensional de todos los elementos del sistema de biofiltración. Por otro lado, es necesario la entrega de planos de taller para la correcta fabricación de los dispositivos (en especial, del reactor biofiltrante). A continuación se muestra cómo se llevó a cabo esta fase en el proceso de diseño.

8.4.2 Modelado 3D

Las piezas mostradas del sistema, se realizaron utilizando Solidworks, que es un programa CAD (dibujo asistido por computadora) de diseño mecánico con el que se pueden crear geometría 3D utilizando sólidos paramétricos.

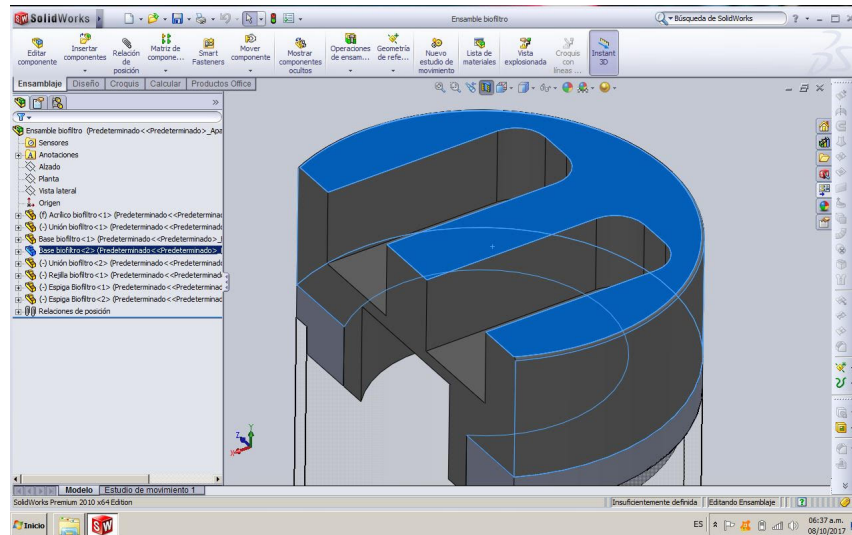


Figura 42. Modelado tridimensional del reactor del biofiltro. Ver Anexos: Planos para mayor detalle.

8.4.3 Dibujo de planos 2D

Para la elaboración de los planos de taller que funcionaron para la fabricación del reactor del biofiltro y la base del soporte del sistema, así como para la representación general de los equipos utilizados, se utilizó el mismo software CAD. Como se observa en los planos anexos, se utilizó un sistema de acotaciones en milímetros y escalas variables, debido al tamaño de los objetos.

Para el caso de los equipos obtenidos (bomba, compresor, medidores de flujo y medidor de gases), en los planos se indica también sus características técnicas. Los planos de taller aquí enlistados a continuación representan el modelo de biofiltración:

- Biofiltro: piezas y ensamble.
- Equipo secundario: bomba, compresor, calentador.
- Equipo de medición: flujómetro y medidor de gases.
- Soporte del sistema.
- Accesorios.
- Ensamblajes: bases, sistema integral.
- Instalaciones.

Capítulo 8. Diseño final del sistema de biofiltración

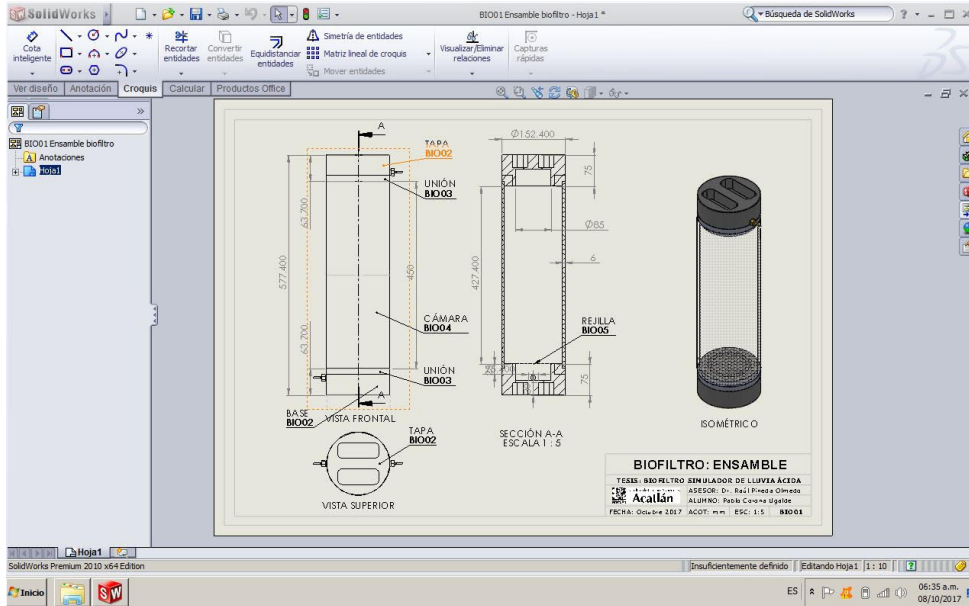


Figura 43. Dibujo de planos 2D en SolidWorks. Ver Anexos: Planos para mayor detalle.

9. Resultados

A través de este trabajo se logró obtener el diseño de los diferentes elementos que ayudaron al desarrollo del proyecto. A continuación se describe la forma en cómo se llevó a cabo la obtención y/o fabricación de los elementos del sistema.

- Se obtuvieron los equipos especializados a través de los fondos antes mencionados (Concurso PAIDI, ver anexos para mayor información), estos fueron: bomba peristáltica, compresor de aire, medidor de flujo, medidor de gases.
- El calentador (incluyendo su termostato, interruptor y cables), se desarrolló en un taller especializado.
- Las tuberías Tee de PVC (niple y tuerca unión con cuerdas) fueron importadas, ya que eran de fabricación especial.
- El reactor del biofiltro (base, cámara, tapa y piezas de unión), se fabricó en un taller con equipo especializado para su torneado, con base en los planos de taller.
- Para la elaboración de la base, se realizó una maqueta con los materiales propuestos, para determinar si era viable su fabricación final. Se realizó la fabricación y ensamble del soporte del sistema, así como de las bases de madera, con base en los planos de taller.
- Los planos de taller detallando las piezas, equipos, instalaciones y dispositivos, se muestran en los anexos.



Figura 44. Fotografía del sistema: soporte, bases de madera y biofiltro.

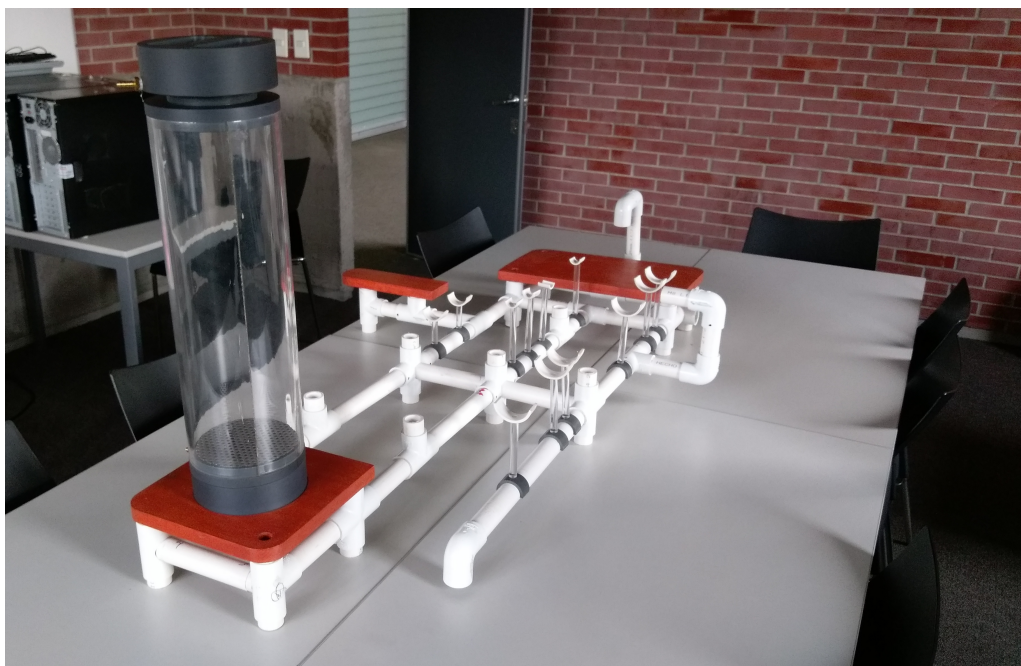


Figura 45. Fotografía del soporte del sistema y biofiltro.

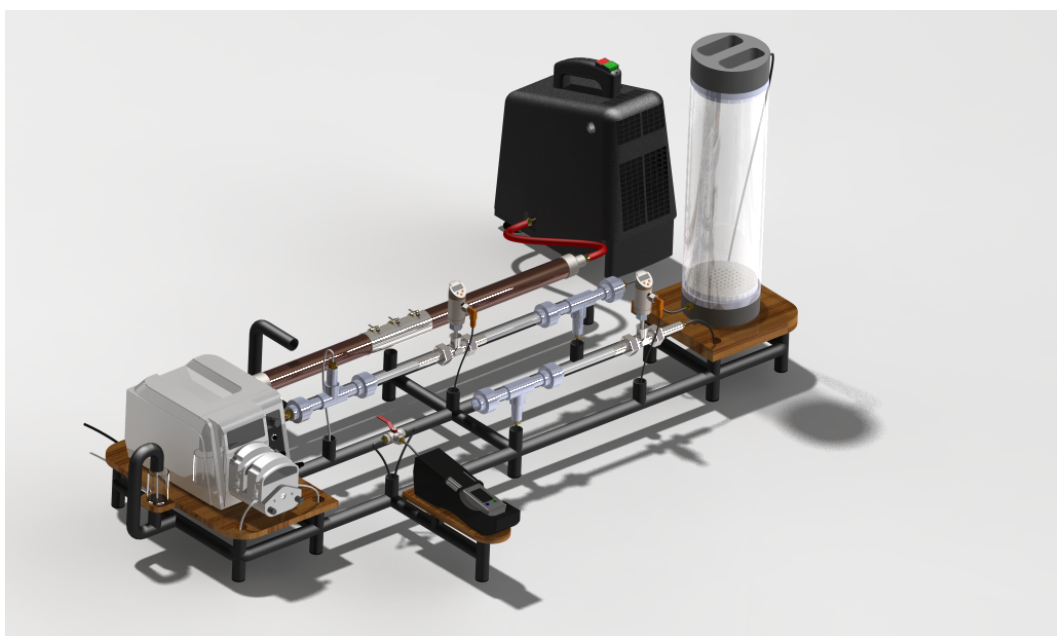


Figura 46. Render descriptivo 1, se observan todos los elementos colocados para el correcto funcionamiento del sistema.

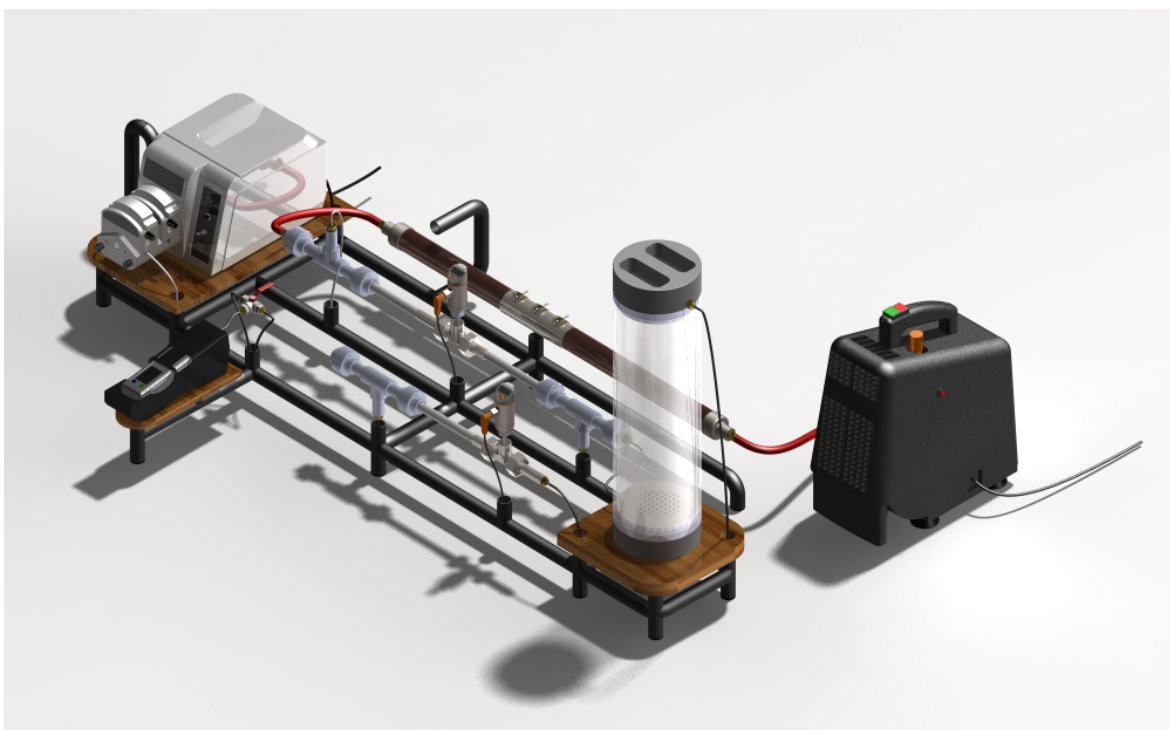


Figura 47. Render descriptivo 2.

10. Conclusiones.

Como se observó a lo largo de los dos capítulos anteriores, se logró la realización de un diseño para el modelo de biofiltración buscado. Una parte primordial de este capítulo es dar respuesta a la hipótesis, a continuación la respuesta al cuestionamiento inicial.

- Se diseñó un modelo de biofiltro de lecho fijo para permitir el soporte del material filtrante.
- Se eligió un material, el cual, con base en numerosos estudios (incluyendo los aquí presentados) se determinó su eficacia como biofiltrante. La cáscara de cacahuete es un elemento biofiltrante adecuado que permite el correcto soporte y nutrientes para los microorganismos responsables de la biofiltración. Cabe mencionar que la configuración del biofiltro diseñado es adaptable a cualquier material biofiltrante.
- Se obtuvieron los equipos y accesorios necesarios para simular las condiciones del sistema.
- Se llevó a cabo el diseño y fabricación de los dispositivos y soportes necesarios para la integración del sistema de biofiltración.

Ahora bien, como se mencionó en la justificación de este trabajo, aún es necesaria la realización de trabajos adicionales para la puesta en marcha del sistema. El seguimiento posterior implicaría lo que se describe a continuación:

- Asegurar que el material filtrante se someta a pruebas de laboratorio para detectar compuestos potencialmente dañinos (como metales pesados).
- Al ser la cáscara de cacahuete un compuesto orgánico, debería contar con los nutrientes suficientes para el crecimiento microbiano, por lo que no requeriría de elementos adicionales.
- Asegurar la humedad de las cáscaras de cacahuete entre un 40% y 60% del peso del material filtrante. Esto se puede lograr retirando las cáscaras, humedeciéndolas con un rociador, y reingresarlas al biofiltro. La ventaja del reactor diseñado, es que permite una fácil manipulación y desenroscado de sus piezas.
- Se deberá voltear periódicamente el material biofiltrante y eventualmente reemplazarlo. Como se mencionó, el diseño del reactor permite que esta tarea sea muy sencilla.
- Otro requerimiento para un mejor material biofiltrante es un pH neutro, la cual es una característica comprobada de la cáscara de cacahuete, por lo que en teoría no sería necesario agregar compuestos para aumentarlo o disminuirlo.
- El gas contaminado deberá ser previamente analizado, el cual podrá ser adecuado eliminando su contenido tóxico o modificando el sistema de ventilación del sistema.
- La concentración máxima de COV's en el gas deberá rondar entre los 3000 a 5000 mg/m³. Una forma de asegurar que el contaminante (para este caso el

Capítulo 10. Conclusiones.

metanol) tenga los niveles adecuados para el biofiltro, es disolverlo con agua, es decir, reducir su concentración.

- Es recomendable que la temperatura del gas contaminado se mantenga entre los 20°C y 40°C, esto para asegurar la eficacia del biofiltrante.
- Para el drenado del material producto de la biofiltración (contaminantes menos biodegradables, agua y otros elementos), el diseño del reactor está pensado para recibir estas sustancias en su base (ver Anexos: Planos para mayor detalle).
- La eficiencia de eliminación esperada en un biofiltro a base de cáscara de cacahuate, se muestra a continuación. Esta eficiencia es variable de acuerdo a los niveles de concentración de contaminante para las diferentes etapas de un experimento; como se muestra en la figura 48, se utilizaron concentraciones del contaminante de 11 a 200 g/m³ de metanol durante 390 días de operación. (Ramírez Piña, 2008, p. 60).

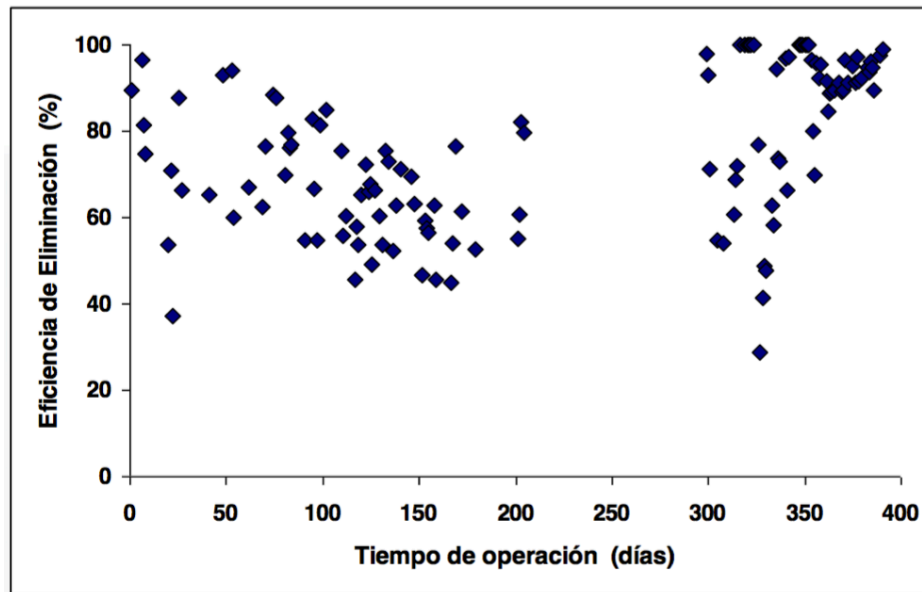


Figura 48. Cuadro de eficiencia esperada en un biofiltro a base de cáscara de cacahuate.

Una vez asegurados los puntos anteriores, y luego de realizar las calibraciones necesarias de los equipos de medición, se podrá realizar el montaje del sistema en un lugar adecuado para su aprovechamiento. Como se ha mencionado en varias ocasiones, la ventaja de contar con este modelo será de gran importancia para analizar y comprender una tecnología de gran potencial. Conforme se avance en el estudio de la biofiltración, se podrán obtener sistemas cada vez más eficientes, esto para que eventualmente puedan ser más competitivos respecto a los métodos convencionales, los cuales implican un gran impacto al medio ambiente.

11. Fuentes consultadas.

- Cárdenas González, B., Revah Moiseev, S., Hernández Jiménez, S., Martínez Sánchez, A., & Gutiérrez Avedoy, V. (2003). *Tratamiento Biológico De Compuestos Orgánicos Volátiles De Fuentes Fijas* (Vol. 1). México, México D.F., México: Instituto Nacional de Ecología.
- Camargo Trillos, D. (2011). *Modelamiento de adsorción y desorción de compuestos orgánicos volátiles COV's sobre materiales microporosos para el tratamiento y recuperación de efluentes provenientes de procesos industriales*. Medellín, Colombia.
- Leson, G., & Winer, A. M. (1991). Biofiltration: An Innovative Air Pollution Control Technology For VOC Emissions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 41 (8), 1045-1054.
- Levinson, A. (n.d.). *Aceros Levinson*. From <http://www.aceroslevinson.com/plasticos/nylamid/maquinado/>
- Corona Hernández, J., Ramírez López, E., Dendooven, L., Rangel, P., & Thalasso, F. (2003). Characterization of five agricultural by-products as potential biofilter carriers. *Bioresource Technology*, 88, 259-263.
- Abraham, S., Joslyn, S., & Suffet, I. (2015). Treatment of odor by a seashell biofilter at a wastewater treatment plant. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65 (10), 1217-1228.
- bloginstrumentacion.com. (n.d.). *¿Cómo funciona un detector de caudal calorimétrico?* From Blog Instrumentación: <http://www.bloginstrumentacion.com/blog/2017/06/19/cmo-funciona-detector-de-caudal-calorimetrico/>
- BMB Technologies. (n.d.). *BMB Technologies*. From http://www.bmbtech.it/wordpress/?page_id=6722#!
- Deviny, J. S., Deshusses, M. A., & Webster, T. S. (1999). *Biofiltration For Air Pollution Control*. Estados Unidos: Lewis Publishers.
- *Dirección General de Comunicación Social*. (2012). From http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2012_574.html
- Dräger. (n.d.). *Dräger X-am 5000*. From Detectores multigás: https://www.draeger.com/es_es/Applications/Products/Mobile-Gas-Detection/Multi-Gas-Detection-Devices/X-am-5000#benefits

Capítulo 11. Fuentes consultadas.

- EcuRed. (n.d.). *Bomba peristáltica*. From EcuRed:
https://www.ecured.cu/Bomba_perist%C3%A1ltica
- Giller, P., & Silvestre, P. (1970). *El cacahuate o maní*. España: Editorial Blume.
- González Sánchez, A., & Morgan Sagastume, J. (2013). *Instituto de Ingeniería UNAM. Gaceta Electrónica*. From <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/Publicaciones/GacetaElectronica/GacetaMarzo2013/Paginas/Eliminacionbiotecnologicademasolores.aspx>
- GRT DARMA. (n.d.). *GRT DARMA*. From The Biofilter:
<http://www.grtdarma.it/en/pc.asp?p=biofilter-biofiltration>
- Harmor, J., Hoff, S., & Rieck-Hinz, A. (2014). Animal Housing. Biofilters Overview. *Agricultural and Environment Extension Publications*.
- Hutomo, Y., & Pinder, K. (2006). Effects of residence time distribution and packing on methanol oxidation in biotrickling filter. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 53 (3), 334-342.
- IFM. (n.d.). *Manual de operación*. From IFM:
<https://www.ifm.com/mounting/80260078ES.pdf>
- IFM. (n.d.). *SA Thermal Flow Sensor*. From IMF:
<http://www.ifm.com/ifmus/web/sa-bro.htm>
- JYRSA. (n.d.). *JYRSA*. From Detector multigas:
<https://jyrsa.com/productos/detector-multi-gas-protege>
- Moe, W. M., & Qi, B. (2015). Biofilter Treatment of Volatile Organic Compound Emissions from Reformulated Paint: Complex Mixtures, Intermittent Operation, and Startup. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 55, 950-960.
- Nava Ramírez, V., Pineda, R., Corona, J., & Thalasso, F. (Octubre de 2002). Determination Of The Biofilm Growth Rate In A Model Biofilter. *2002 USC-TRG Conference On Biofiltration*, 17-21.
- Phillips, P., Wolcott, R., Fletcher, J., & Schultz, G. (2010). Biofilms made easy. *Wounds International*, 1 (3), 1-6.
- Pineda, R., Nava Ramírez, V., Alba, J., Corona, J., Ponce Noyola, T., & Thalasso, F. (Octubre de 2002). Microbial Characterization Of A Model Biofilter During The Start-Up Period. *2002 USC-TRG Conference Of Biofiltration*, 23-29.
- Pirnie, M. (Enero de 1999). Evaluation of the Fate and Transport of Methanol in the Environment. *American Methanol Institute*.

- Ramírez Piña, J. (2008). *Biofiltración de Metanol Utilizado Como Soporte Semilla de Uva y Vaina de Cacahuete*. Aguascalientes, Aguascalientes, México.
- Revista Innovación UNAM, A. (n.d.). *Innovación UNAM*. From Innovación UNAM: http://www.innovacion.unam.mx/noticiero/noticia_55.html
- Thalasso, F., & Pineda Olmedo, R. (2002). Biofiltración: Tratamiento Biológico de Aire Contaminado . *Avance y Perspectiva* , 21, 325-327.
- *United States Environmental Protection Agency*. (n.d.). From <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds#3>
- Van Lith, C., Leson, G., & Michelsen, R. (1997). Evaluating Design Options for Biofilters. *Journal of the Air & Waste Management Association* , 47 (1), 37-48.
- Woodproof, J. (1973). *Peanuts: production, processing and products*. The Avi Publishing Company .
- Zhang, Y., Liss, S., & Allen, D. (2007). Effect of methanol on pH and stability of inorganic biofilters treating dimethyl sulfide. *Environmental Science and Technology* . , 41 (10), 3752-3757.

12. Índice de figuras

- Figura 1. Metodología de trabajo..... 5
- Figura 2. Primeros diagramas para la comprensión del sistema. 6
- Figura 3. Esquema de un biofiltro. (González Sánchez & Morgan Sagastume, 2013)..... 8
- Figura 4. Usos de la biofiltración. 11
- Figura 5. Aplicaciones de la biofiltración (Leson & Winer, p. 1048)..... 11
- Figura 6. Biofiltro abierto de múltiples lechos, en configuración vertical. (Harmor, Hoff, & Rieck-Hinz, 2014)..... 15
- Figura 7. Biofiltro de lecho abierto, con reactor de madera. (Harmor, Hoff, & Rieck-Hinz, 2014)..... 16
- Figura 8. Biofiltro cerrado prefabricado. (BMB Technologies)..... 17
- Figura 9. Materiales utilizados como biofiltrantes. 18
- Figura 10. Cáscara de cacahuate..... 24
- Figura 11. Diagrama representativo de un biofiltro. 25
- Figura 12. Diagrama descriptivo de un biofiltro cerrado. (GRT DARMA)..... 26
- Figura 13. Diagrama descriptivo del sistema propuesto. 27
- Figura 14. Propuestas para el biofiltro (configuración vertical). En uno se observan elementos del sistema debajo de una base..... 28
- Figura 15. Configuración vertical para el sistema de biofiltración..... 29
- Figura 16. En el dibujo se muestra el biofiltro, medidores, compresor y otros equipos y accesorios esenciales para el sistema de biofiltración..... 29
- Figura 17. Bomba peristáltica WT600-2J utilizada en el sistema de biofiltración presente. Sus dimensiones y especificaciones se pueden ver en los anexos. Fuente: (EcuRed)..... 30

- Figura 18. Compresor Truper COMP-POR-2.5 utilizado en el sistema de biofiltración presente. Sus dimensiones y especificaciones se pueden ver en los anexo (Fuente: www.truper.com)..... 31
- Figura 19. Calentador utilizado en el sistema de biofiltración presente. Sus dimensiones y especificaciones se pueden ver en los anexos (Anexo: Planos). 31
- Figura 20. Conexiones para el sistema de flujo de gas. (Anexo: Planos)..... 32
- Figura 21. Diagrama de funcionamiento de un caudalímetro con funcionamiento calorimétrico. 33
- Figura 22. Modelo SAxx00 de la marca IFM, ver detalles en Anexos: planos..... 33
- Figura 23. Correcta operación en tubería horizontal: la punta del sensor debe estar completamente en contacto con el fluido. (IFM, Manual de operación)... 34
- Figura 24. Uso de un detector de gases para el ingreso a una zona contaminada. 34
- Figura 25. Modelo X-am 5000 de la marca Dräger, ver detalles en anexos: planos. 35
- Figura 26. Medidor de gases con adaptación de accesorio de bombeo..... 35
- Figura 27. Diagrama del funcionamiento del sistema..... 38
- Figura 28. Configuración típica de un biofiltro de prueba. (Ramírez Piña, 2008) 39
- Figura 29. Diseño final del reactor..... 40
- Figura 30. Explosivo del reactor. 41
- Figura 31. Plano de taller de cámara central del reactor (ver Anexos: Planos para mayor detalle). 42
- Figura 32. Plano de taller de tapa y base del reactor (ver Anexos: Planos para mayor detalle)..... 42
- Figura 33. Plano de taller de pieza unión del reactor (ver Anexos: Planos para mayor detalle)..... 43
- Figura 34. En el dibujo se muestra el boceto de lo que fue la propuesta final del diseño. En el boceto se observa la mayoría de las partes del sistema de biofiltración..... 44

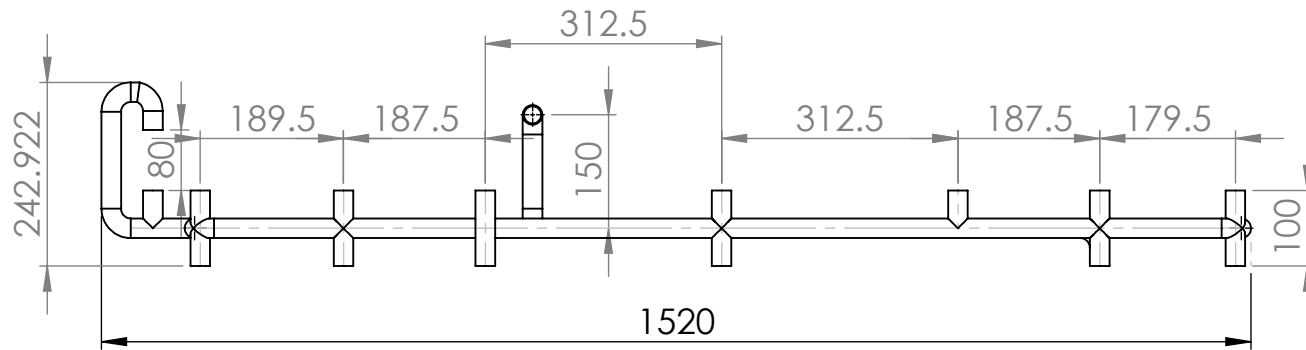
Capítulo 12. Índice de figuras

- Figura 35. Diseño final del sistema de biofiltración. 45
- Figura 36. Esquema del sistema de biofiltración. Para mayor detalle, ver Anexo: Planos. 45
- Figura 37. Esquema básico del soporte del sistema de biofiltración. Material propuesto: PVC de 1" de diámetro. Para mayor detalle, ver Anexo: Planos. 46
- Figura 38. Modelo que muestra las bases utilizadas para los equipos del sistema. Para mayor detalle, ver Anexo: Planos. 47
- Figura 39. Modelo que muestra los soportes para las tuberías del sistema. Para mayor detalle, ver Anexo: Planos. 47
- Figura 40. Conexiones hidráulicas del sistema de biofiltración. Ver Anexo: Planos para mayor detalle. 48
- Figura 41. Conexiones eléctricas del sistema de biofiltración. Para mayor detalle, ver Anexo: Planos. 49
- Figura 42. Modelado tridimensional del reactor del biofiltro. Ver Anexos: Planos para mayor detalle. 50
- Figura 43. Dibujo de planos 2D en SolidWorks. Ver Anexos: Planos para mayor detalle. 51
- Figura 44. Fotografía del sistema: soporte, bases de madera y biofiltro. 52
- Figura 45. Fotografía del soporte del sistema y biofiltro. 53
- Figura 46. Render descriptivo 1, se observan todos los elementos colocados para el correcto funcionamiento del sistema. 53
- Figura 47. Render descriptivo 2. 54
- Figura 48. Cuadro de eficiencia esperada en un biofiltro a base de cáscara de cacahuete. 56

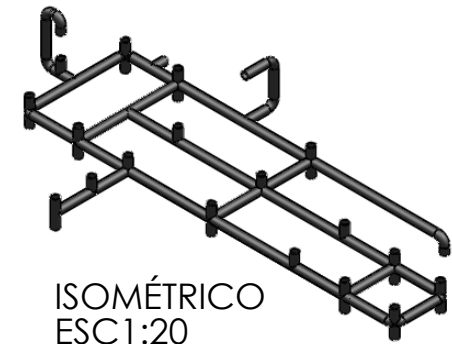
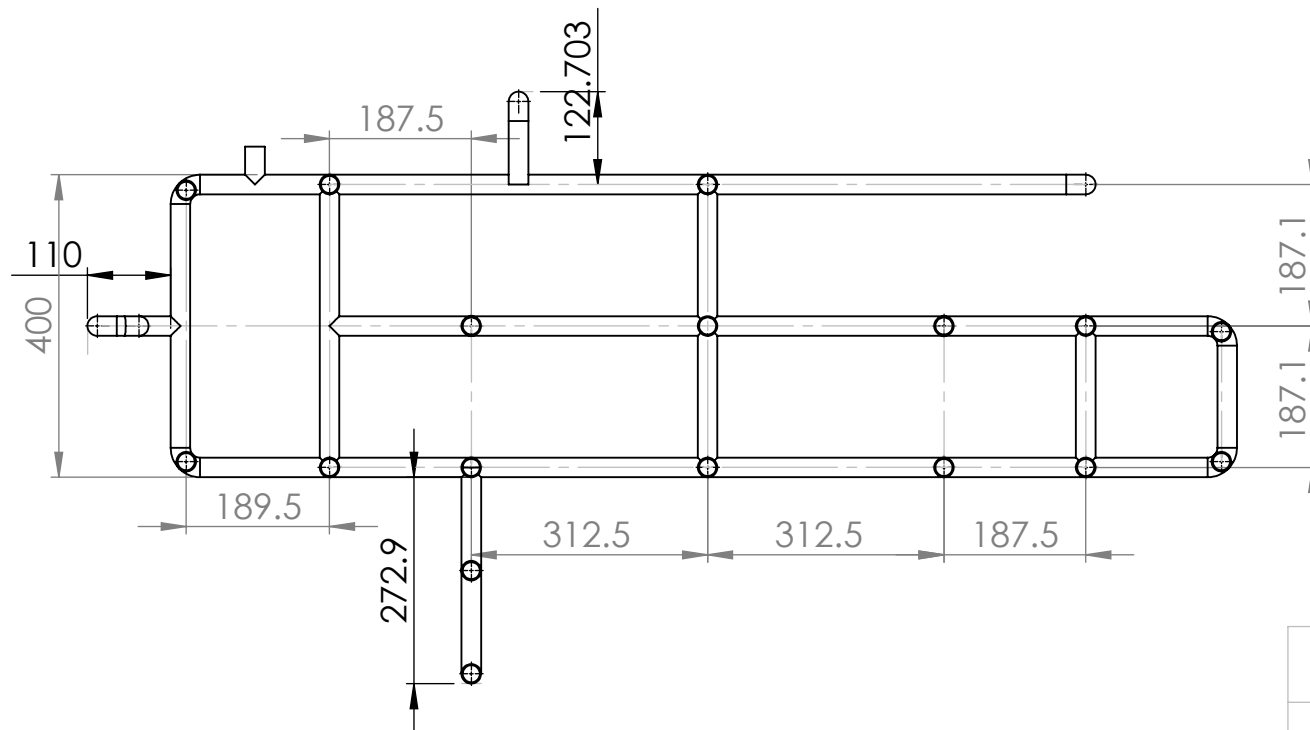
13. Anexos

Planos

- BAS01 Base del Sistema.
- BASE01 Base de madera para biofiltro.
- BASE02 Base de madera para bomba.
- BASE03 Base para medidor Drager.
- BASE04 Ensamble estructura y bases de madera.
- BIO01 Ensamble biofiltro.
- BIO01a Ensamble biofiltro.
- BIO02 Base biofiltro.
- BIO03 Unión biofiltro.
- BIO04 Acrílico biofiltro.
- BIO005 Rejilla.
- BP01 Bomba peristáltica.
- CAL01 Calentador.
- CNX01 Plano de conexiones.
- COM01 Compresora Truper.
- CON01 Detalles Conexiones.
- DET01 Medidor Drager.
- DET02 Medidor Drager + Base.
- ENS01 Ensamble del sistema.
- ENS01a Ensamble del sistema.
- ENS01b Ensamble del sistema.
- ENS01c Ensamble del sistema.
- ENS02 Detalles de soportes.
- FLU01 Flujoímetro.
- IE01 Instalación Eléctrica.



MATERIAL: PVC sanitario
 DIÁMETRO: 1 pulgada
 ESPESOR: 1.65 mm



BASE DEL SISTEMA

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



Acatlán

ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

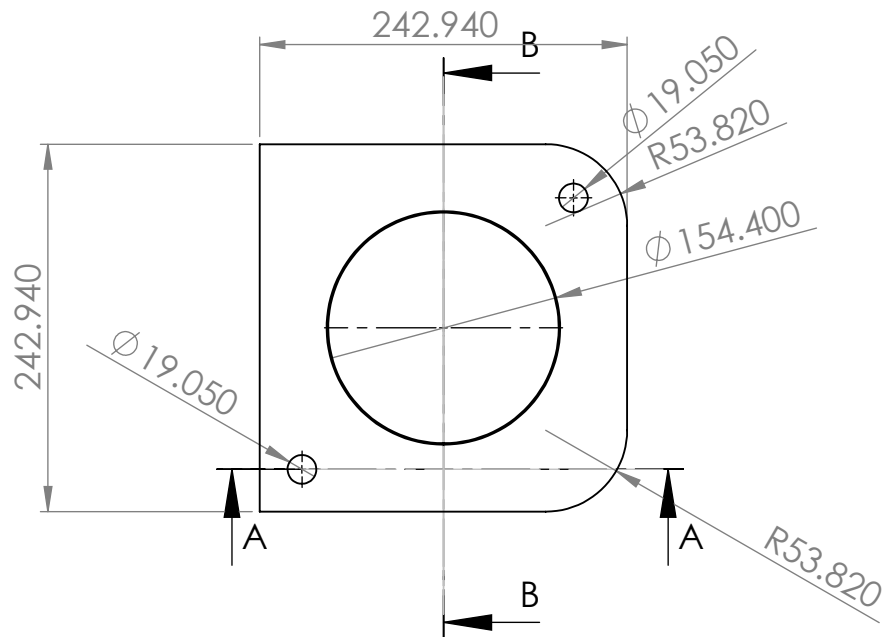
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

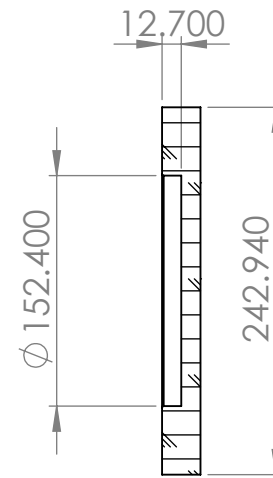
ACOT: mm

ESC: 1:10

BAS01



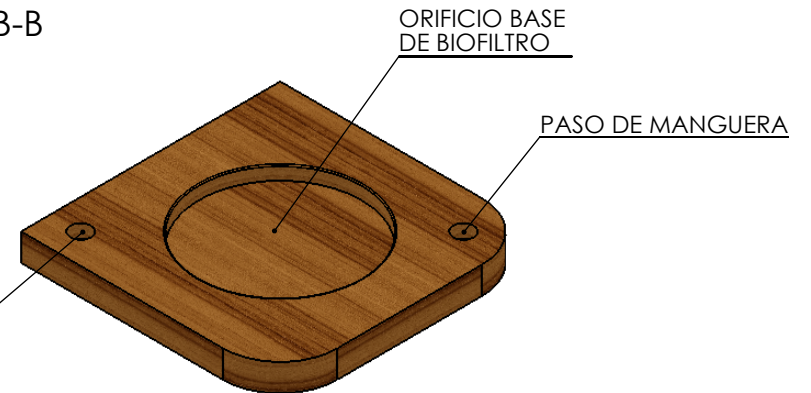
VISTA SUPERIOR



SECCIÓN B-B



SECCIÓN A-A



ISOMÉTRICO

MATERIAL: MADERA (PINO)
 ACABADO: MATE
 ESPESOR: 1 PULGADA

BASE DE MADERA PARA BIOFILTRO

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

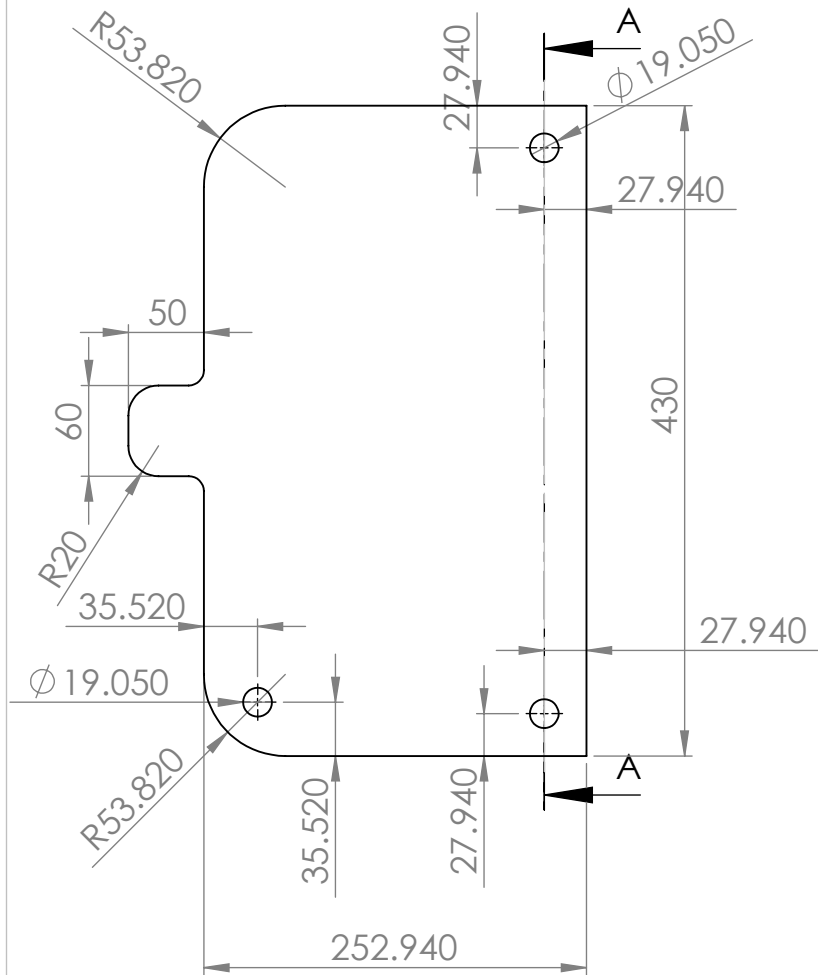
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

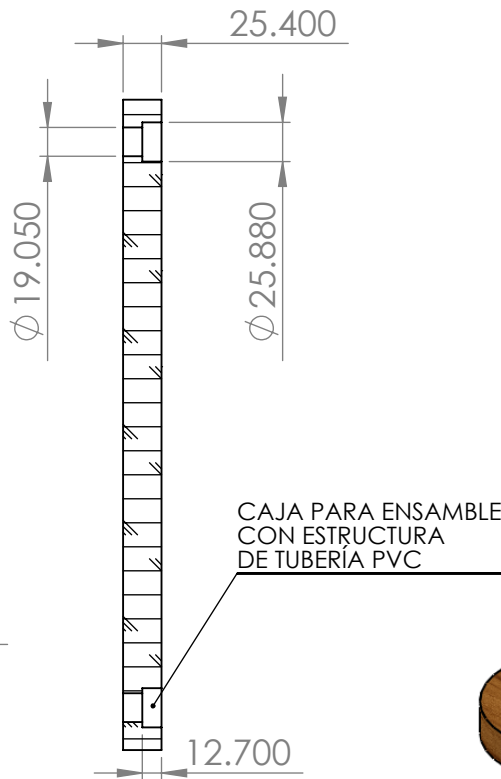
ACOT: mm

ESC: 1:5

BASE01



VISTA SUPERIOR



SECCIÓN A-A



ISOMÉTRICO

MATERIAL: MADERA (PINO)
 ACABADO: MATE
 ESPESOR: 1 PULGADA

BASE DE MADERA PARA BOMBA

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

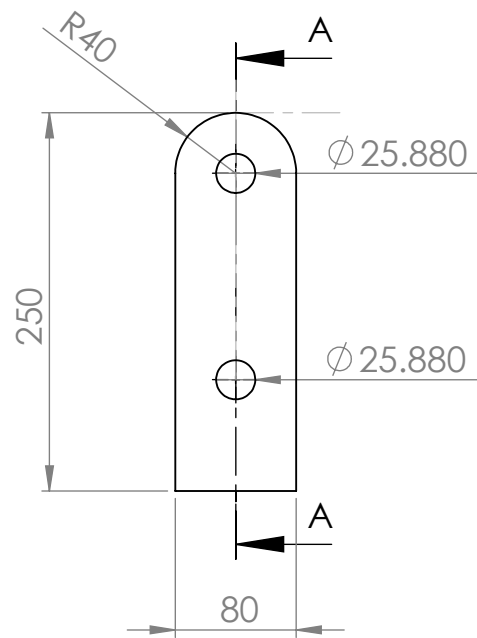
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

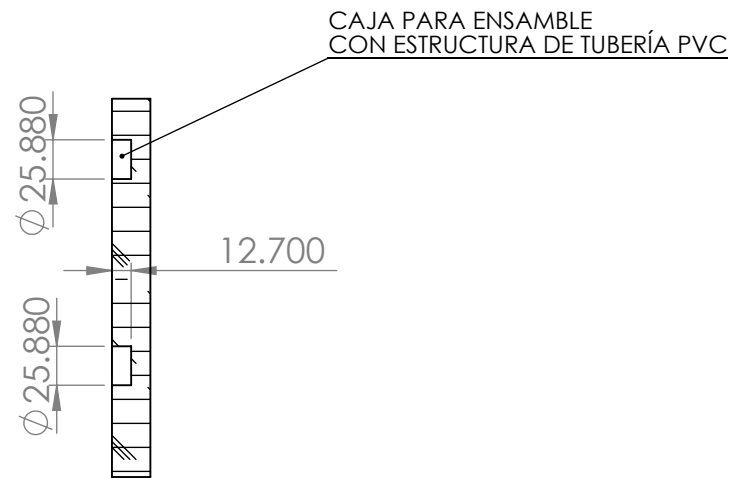
ACOT: mm

ESC: 1:5

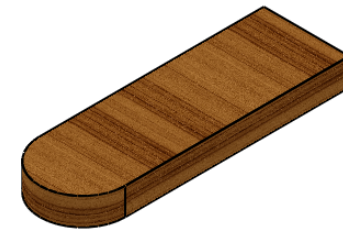
BASE02



VISTA INFERIOR



SECCIÓN A-A



ISOMÉTRICO

MATERIAL: MADERA (PINO)
 ACABADO: MATE
 ESPESOR: 1 PULGADA

BASE PARA MEDIDOR DRÄGER

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



Facultad de Estudios Superiores
Acatlán

ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

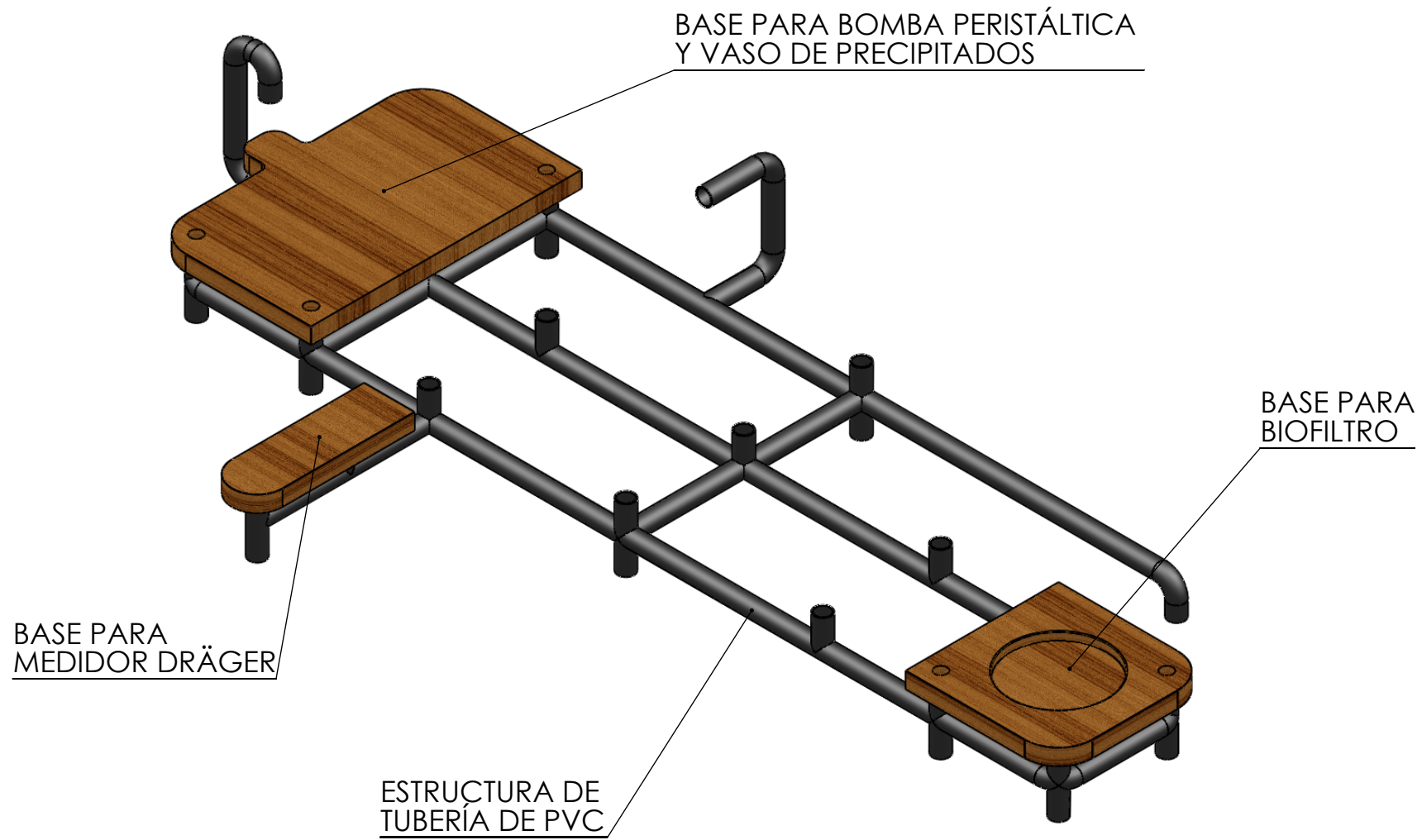
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

ACOT: mm

ESC: 1:5

BASE03



ENSAMBLE ESTRUCTURA Y BASES DE MADERA

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

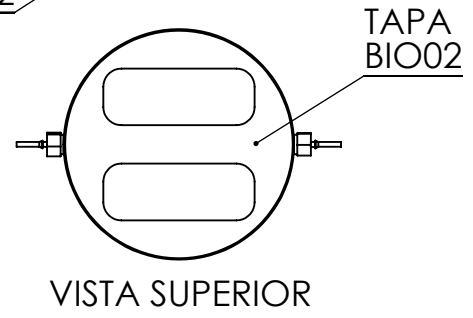
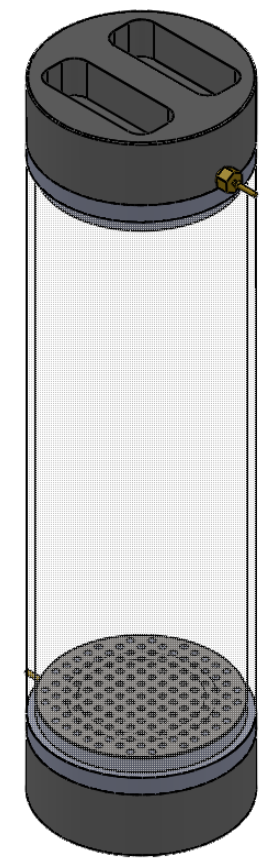
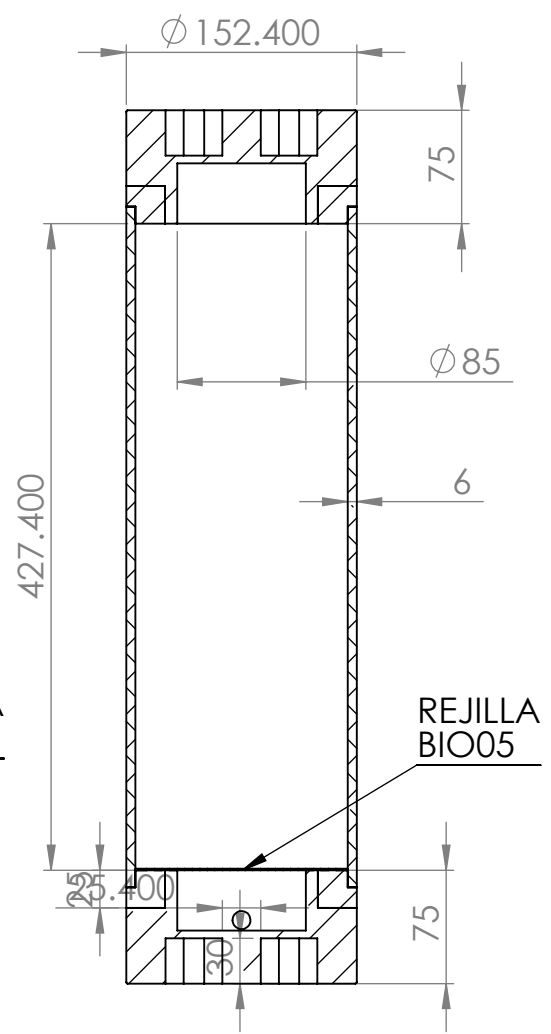
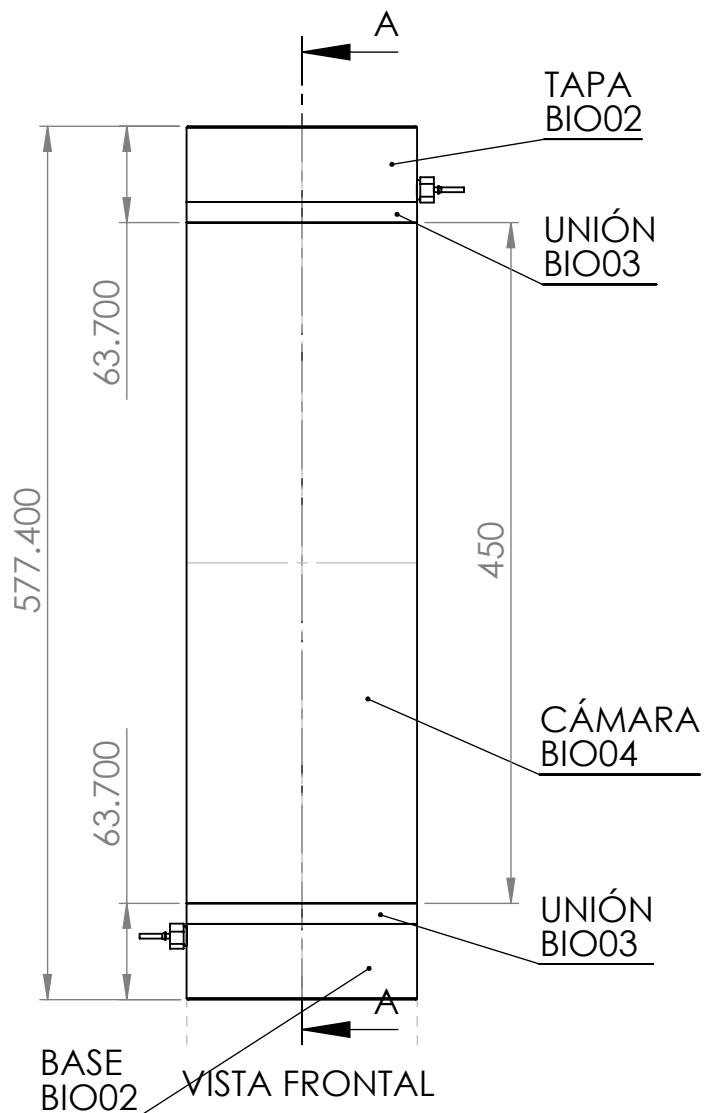
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

ACOT: mm

ESC: 1:7

BASE04



BIOFILTRO: ENSAMBLE

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

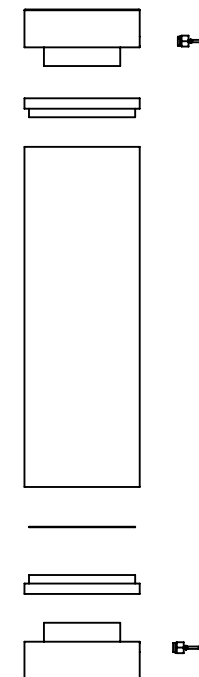
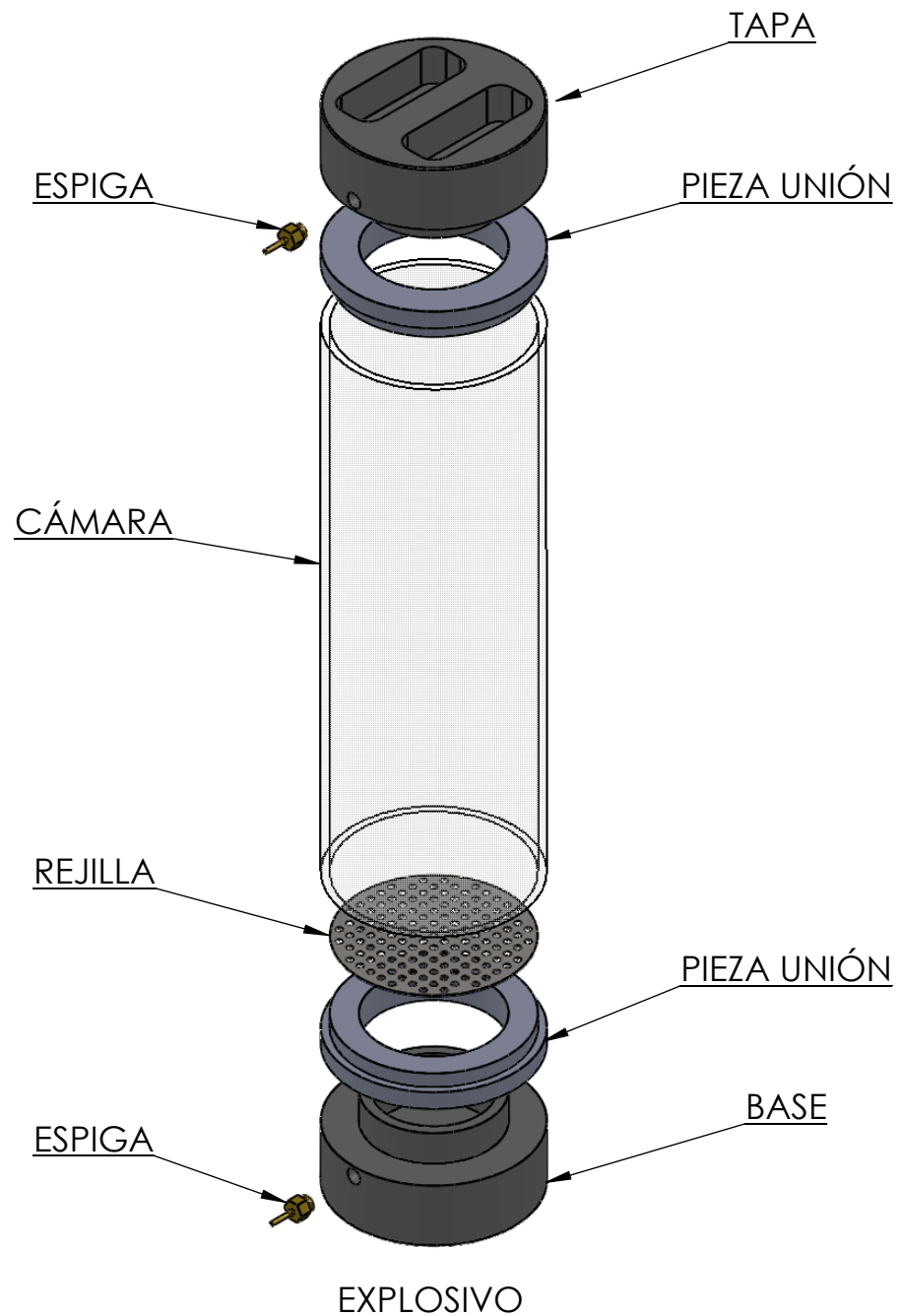
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

ACOT: mm

ESC: 1:5

BIO01



VISTA FRONTAL
ESC 1:10

ENSAMBLE BIOFILTRO

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



Facultad de Estudios Superiores
Acatlán

ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

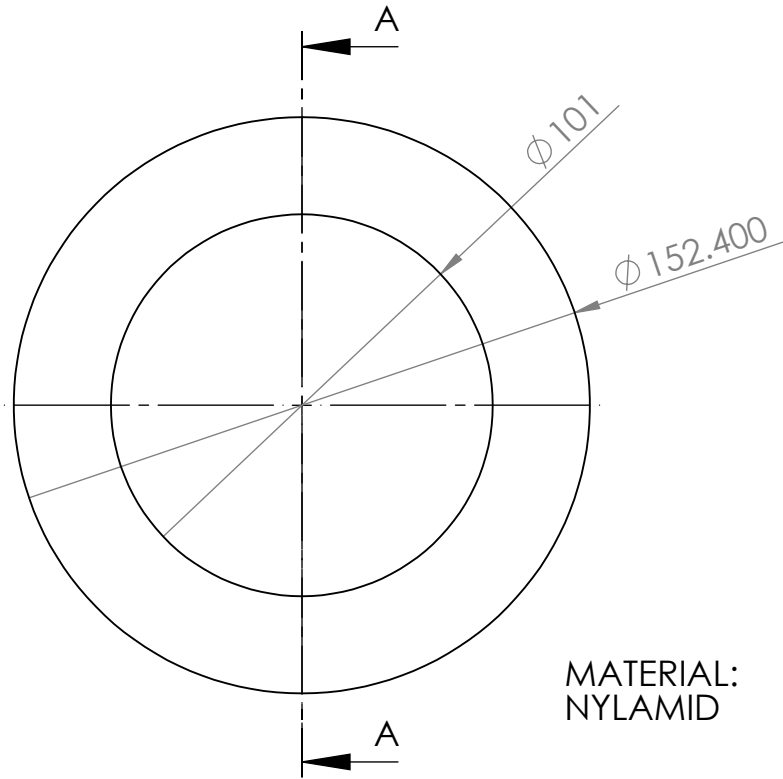
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

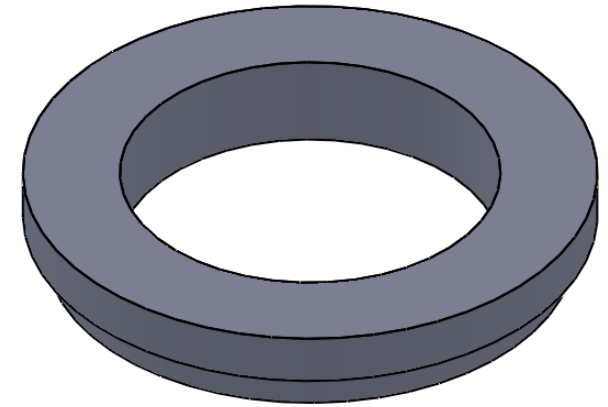
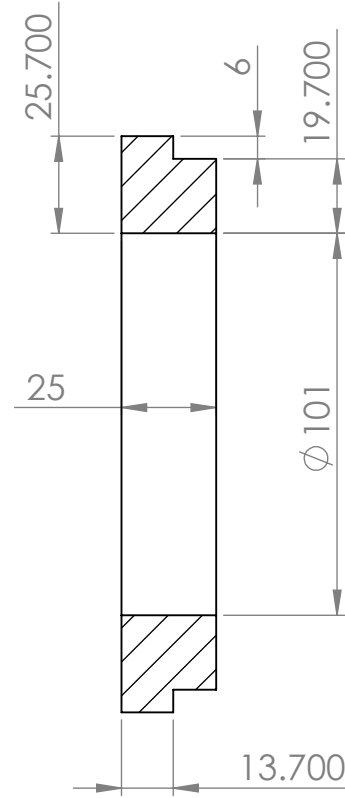
ACOT: mm

ESC: 1:5

BIO01a



MATERIAL:
NYLAMID



ISOMÉTRICO



CUERDA TIPO ACME

BIOFILTRO: UNIÓN

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

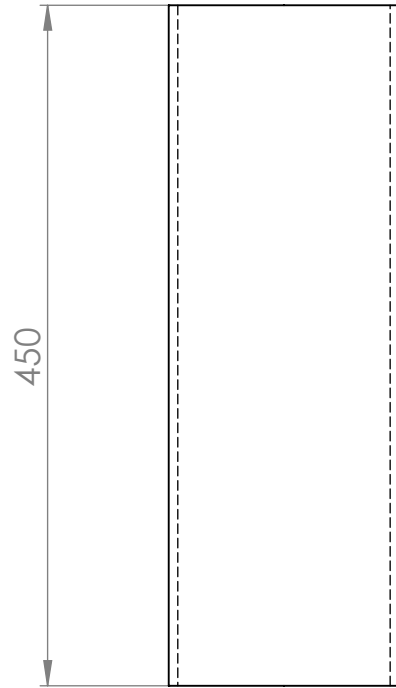
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

ACOT: mm

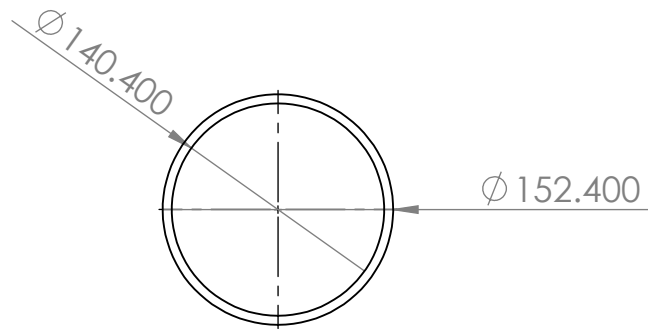
ESC: 1:5

BIO03

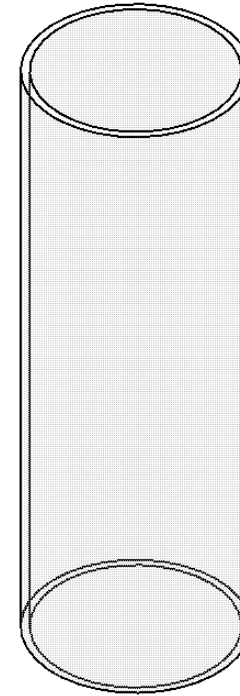


VISTA FRONTAL

MATERIAL: ACRÍLICO
ESPESOR: 6 mm



VISTA SUPERIOR



ISOMÉTRICO

BIOFILTRO: CÁMARA

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



Facultad de Estudios Superiores

Acatlán

ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

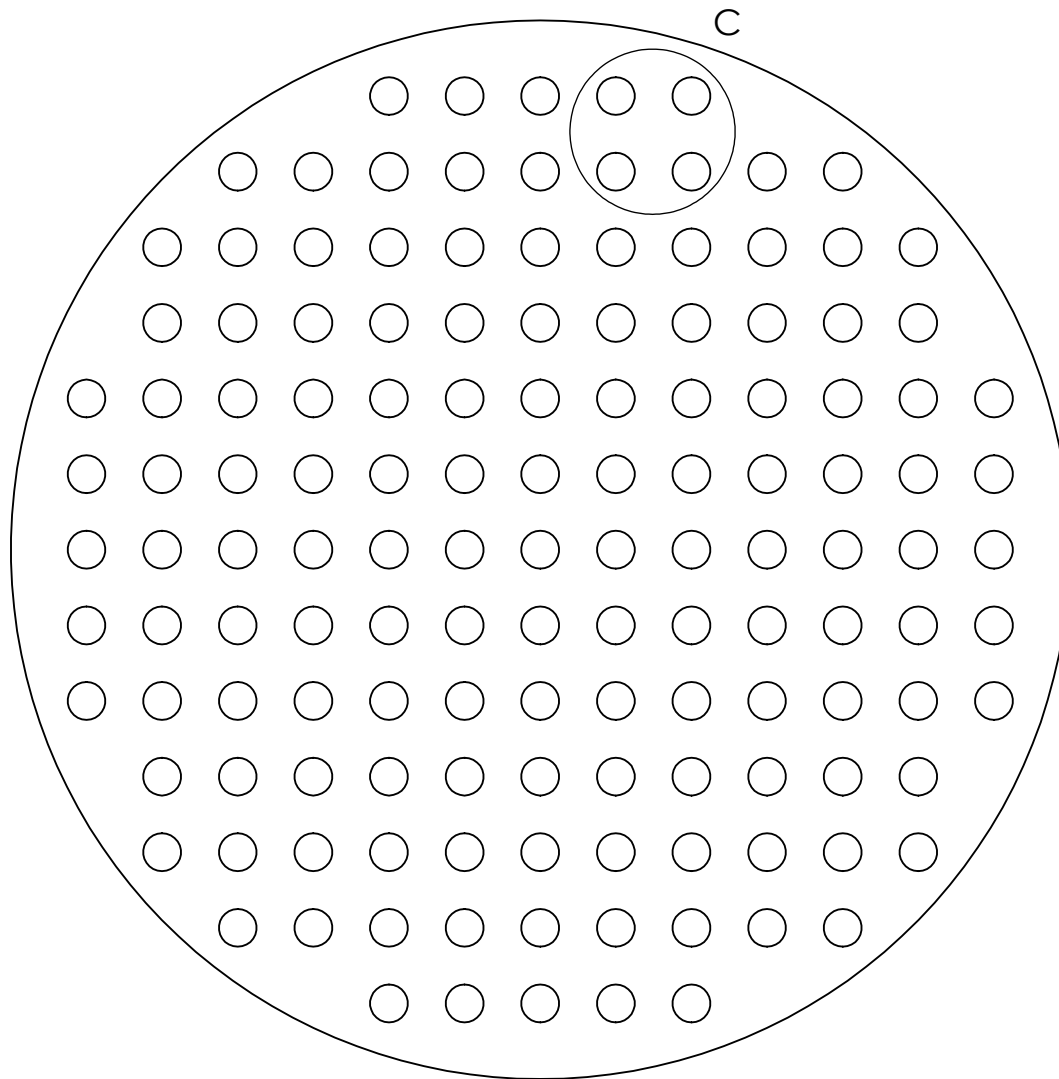
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

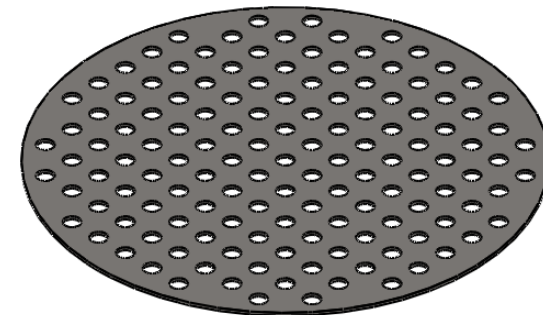
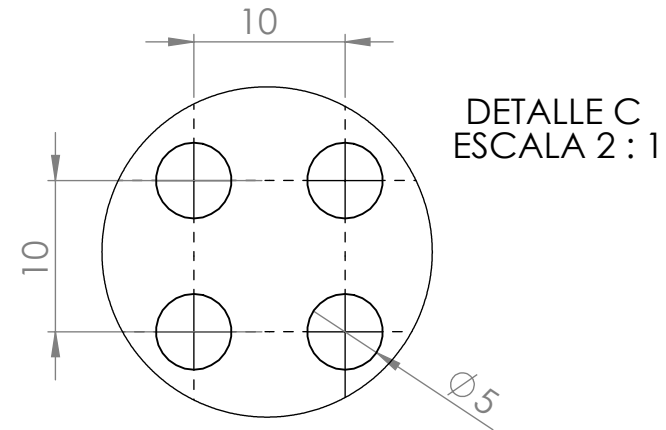
ACOT: mm

ESC: 1:5

BIO04



MATERIAL: LÁMINA DE ACERO INOXIDABLE
 ESPESOR: 1mm



ISOMÉTRICO

BIOFILTRO: REJILLA

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

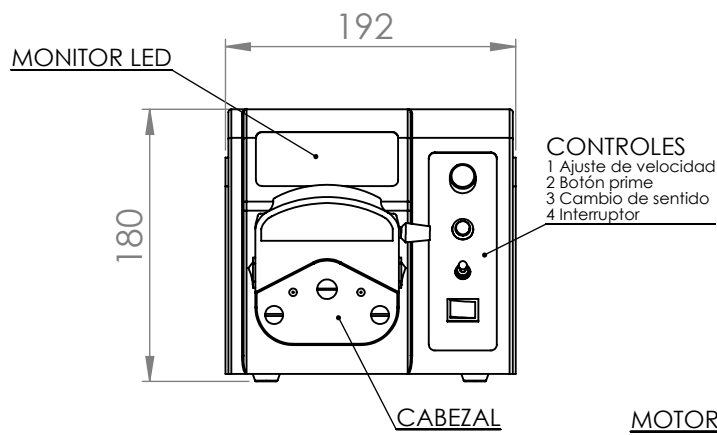
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

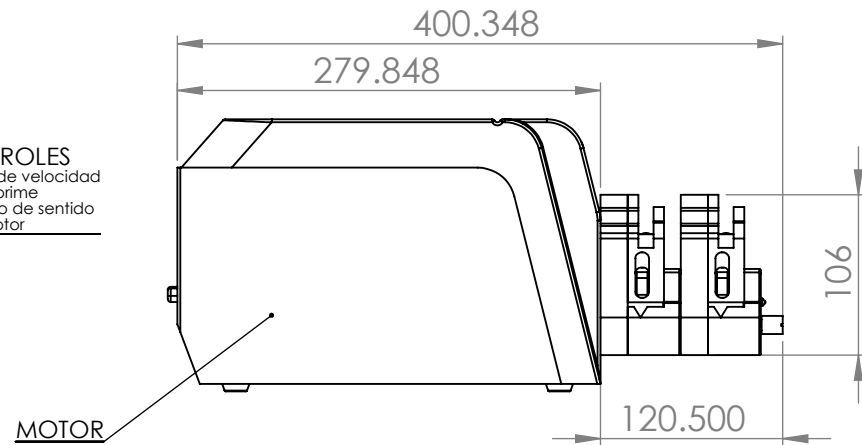
ACOT: mm

ESC: 1:1

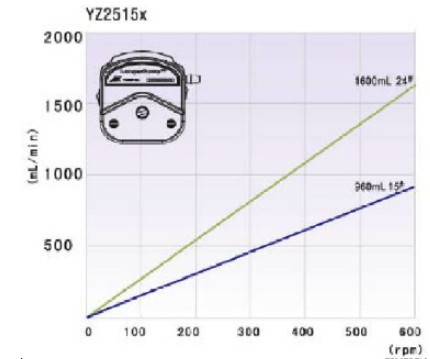
BIO05



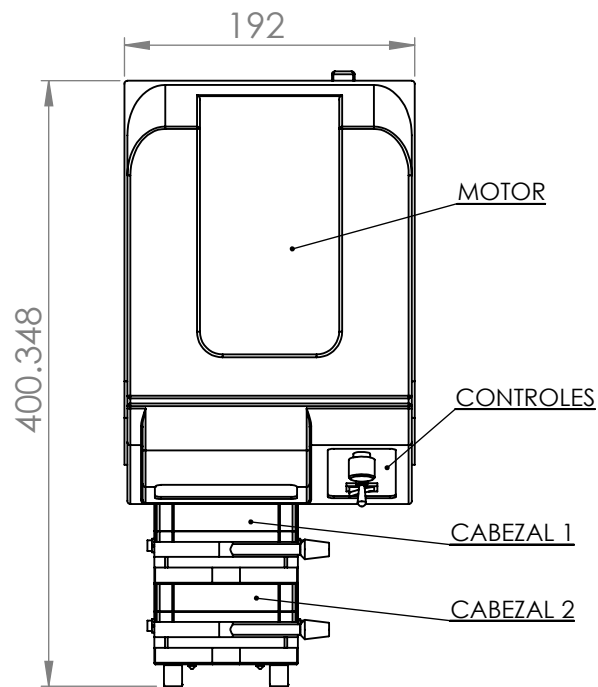
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



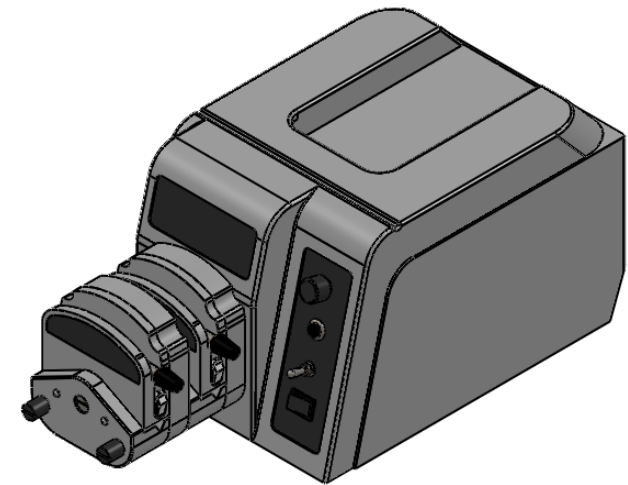
Relación velocidad -
gasto del cabezal



VISTA SUPERIOR

Marca	Longer
Modelo	WT 600-2J
Peso	5.2 kg
Flujo	4.2 a 6000 mL/min
Velocidad	60 a 600 rpm
Precisión	± 1 rpm
Voltaje	176 - 264 V
Potencia	< 200 W
Indice de protección	IP 31
Temperatura de operación	0 a 40°C (humedad relativa <80%)
Modelo del cabezal	YZ1515x / YZ2515x
Diámetros de manguera admisibles para el cabezal	0.8 a 7.9 mm / 4.8 a 6.4 mm
Material de manguera	Silicón

ESPECIFICACIONES



ISOMÉTRICO

BOMBA PERISTÁLTICA LONGER WT600-2J

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



Facultad de Estudios Superiores
Acatlán

ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

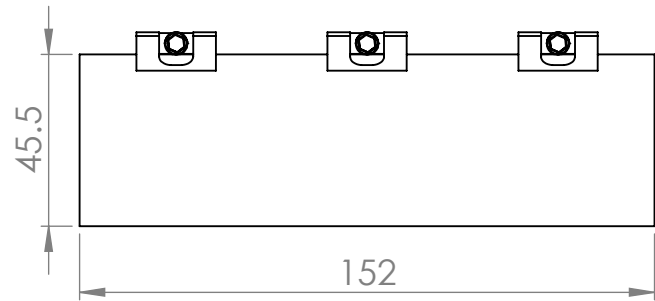
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

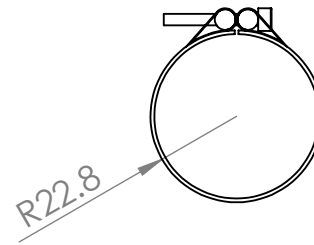
ACOT: mm

ESC: 1:5

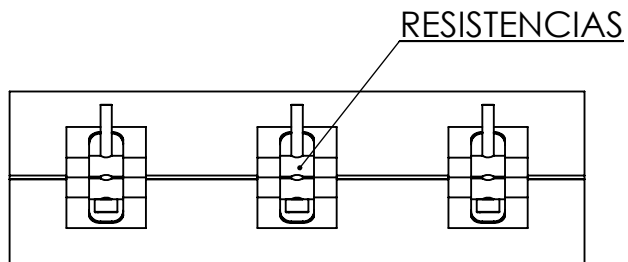
BP01



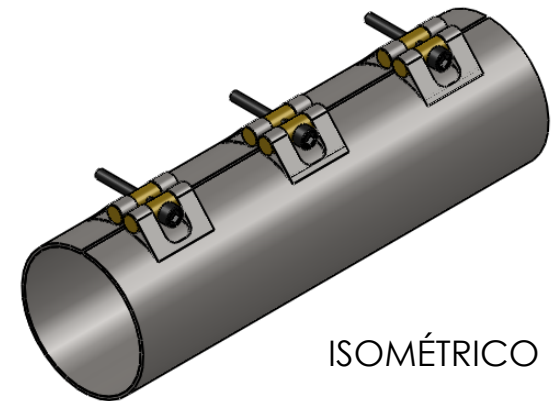
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



ISOMÉTRICO

CALENTADOR

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



Facultad de Estudios Superiores
Acatlán

ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

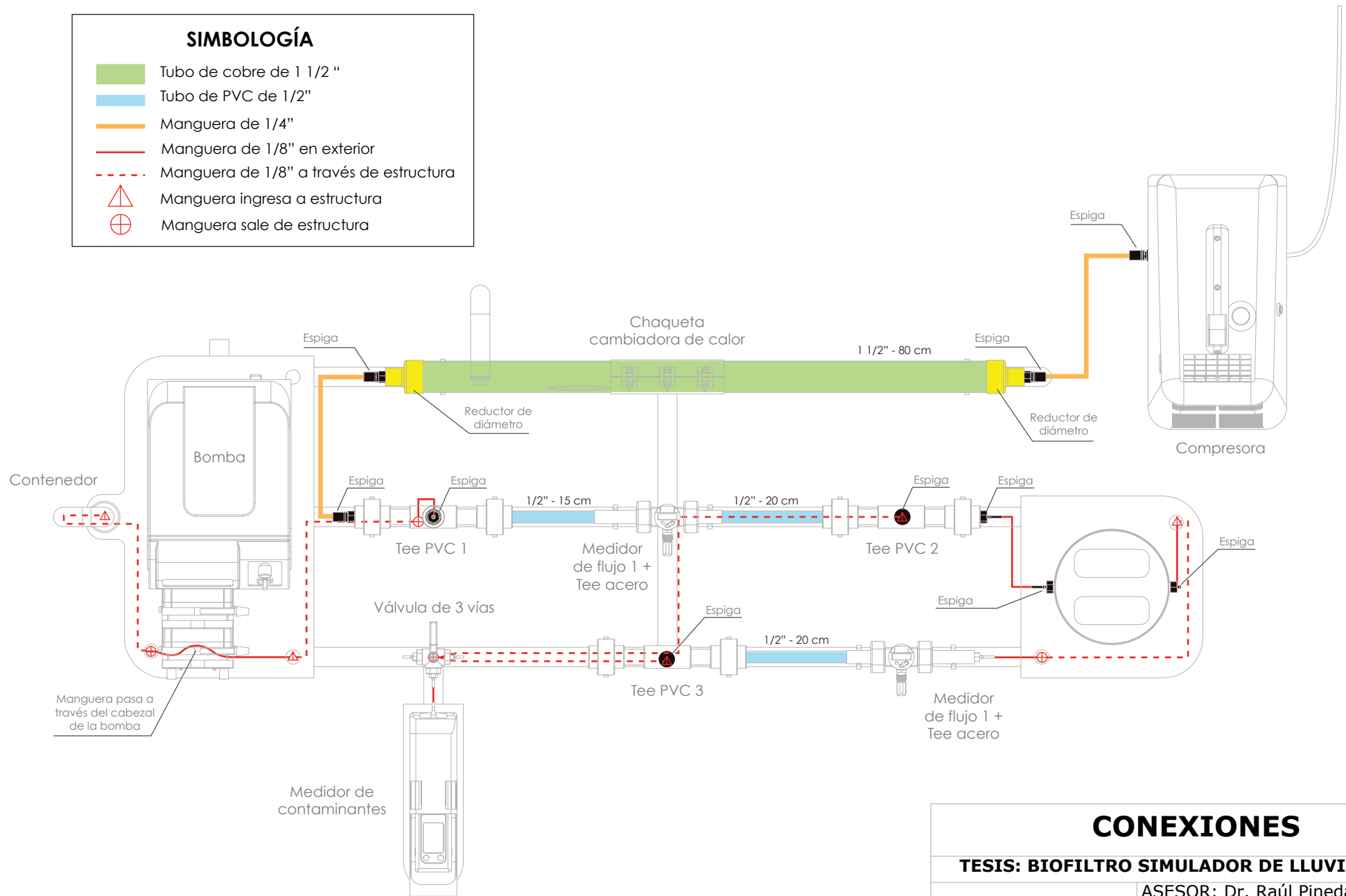
ACOT: mm

ESC: 1:2

CAL01

SIMBOLOGÍA

- Tubo de cobre de 1 1/2 "
- Tubo de PVC de 1/2"
- Manguera de 1/4"
- Manguera de 1/8" en exterior
- Manguera de 1/8" a través de estructura
- Manguera ingresa a estructura
- Manguera sale de estructura



CONEXIONES

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA

ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

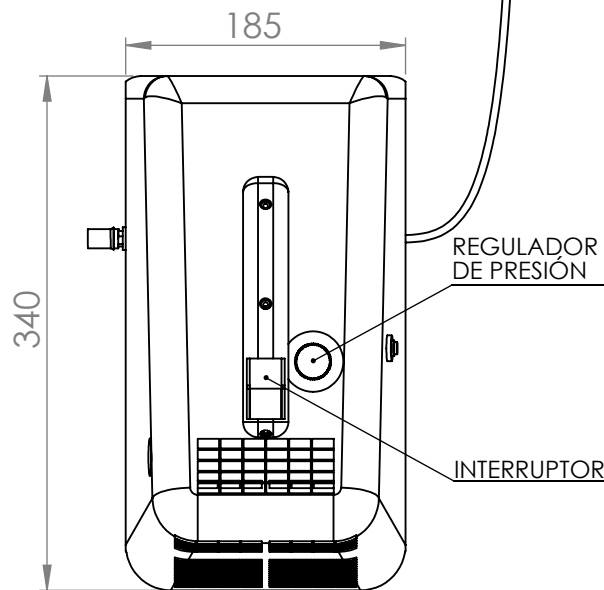
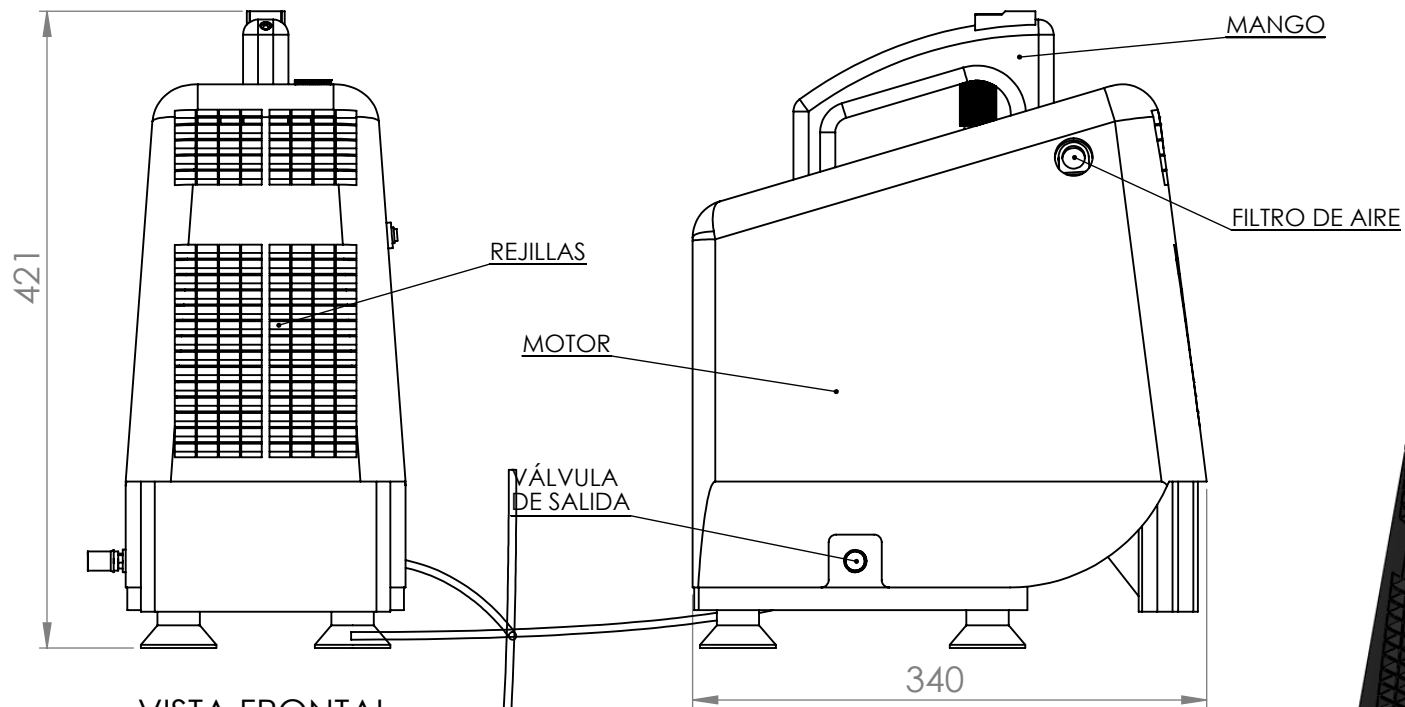
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: 30/06/2017

ACOT: mm

ESC: 1:7

CNX01



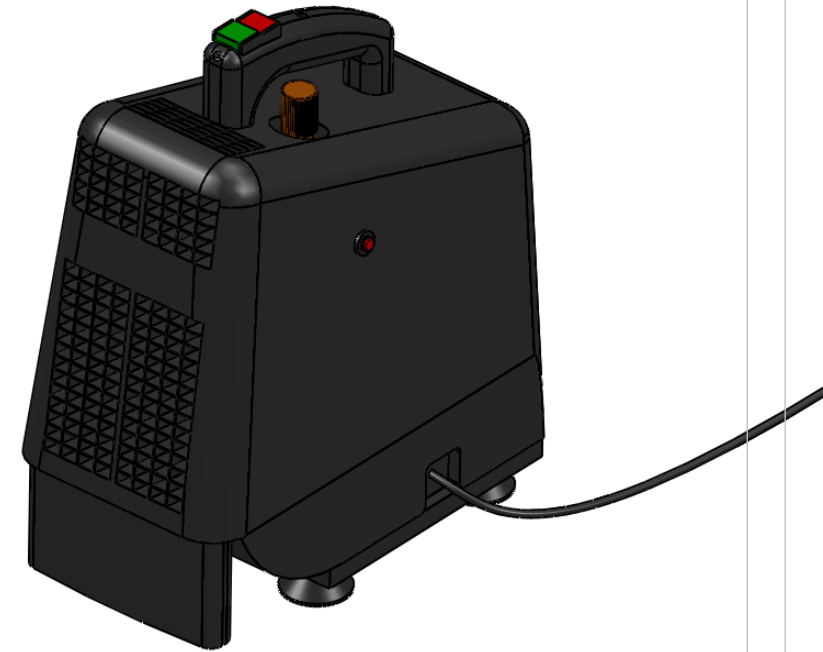
VISTA FRONTAL

VISTA LATERAL

VISTA SUPERIOR

Marca	Truper
Modelo	COMP-POR-2.5
Peso	11 kg
Voltaje	120 V
Corriente	7.2 A
Velocidad	3400 rpm
Potencia nominal	1100 W
Potencia máxima	1865 W
Flujo	85-113 L/min (40-90 PSI)
Presión máxima	116 PSI
Salidas de aire	1

ESPECIFICACIONES



ISOMÉTRICO

COMPRESORA TRUPER COMP-POR-2.5

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

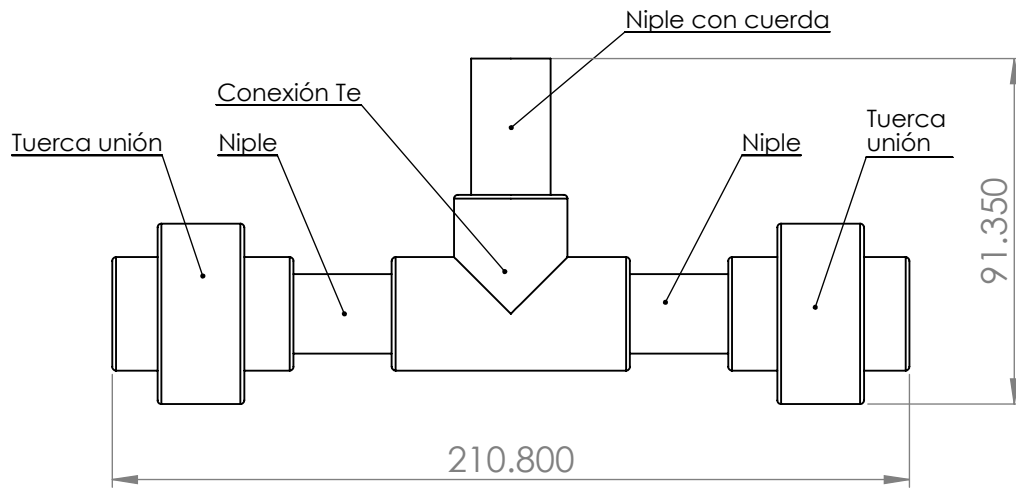
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

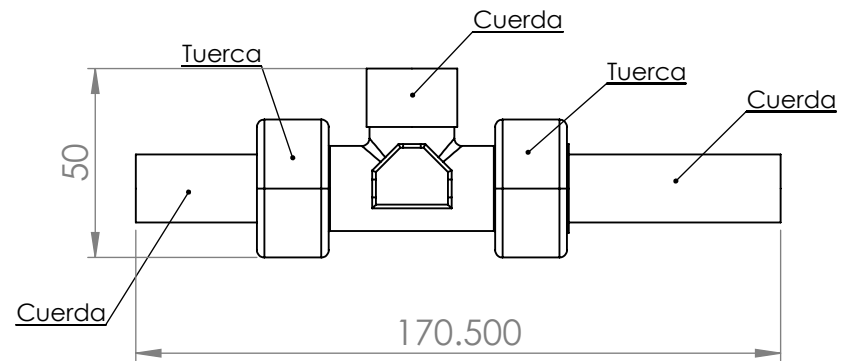
ACOT: mm

ESC: 1:5

COM01



CONEXIÓN "TE" PVC



CONEXIÓN "TE" DE ACERO INOXIDABLE
PARA MEDIDOR DE FLUJO

DETALLES CONEXIONES

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

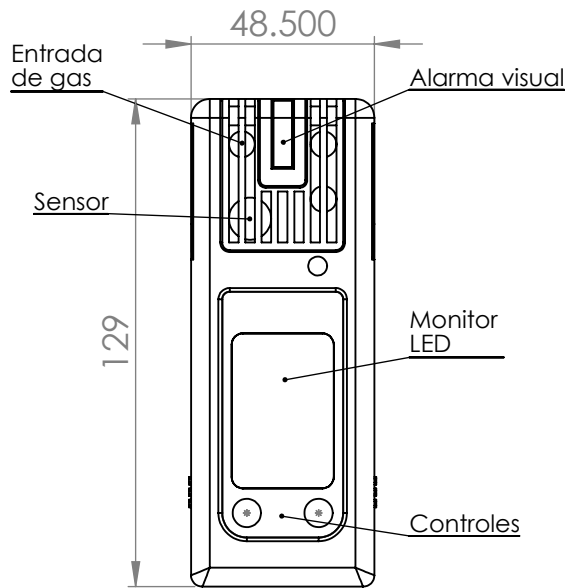
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

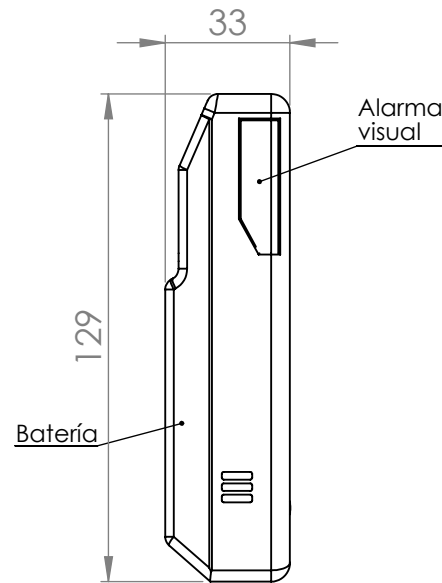
ACOT: mm

ESC: 1:5

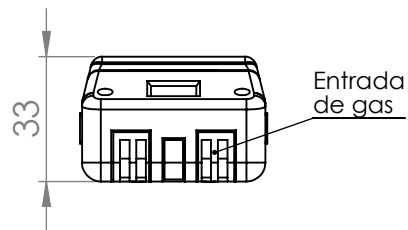
CON01



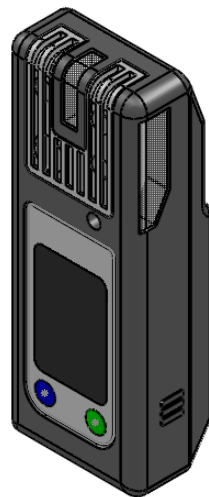
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



ISOMÉTRICO

Marca	Dräger
Modelo	X-am 5000
Peso	250 g
Temperatura de operación	-20°C a +50°C
Presión de operación	De 700 a 1300 hPa
Humedad de operación	10- 95 % r.h.
Alarmas	Visual, sonora y vibración.
Índice de protección	IP 67
Tiempo de funcionamiento	> 12 horas con pilas alcalinas y batería NiMH; > 13 horas con NiMH HC; sin sensor Ex > 250 horas con pilas alcalinas; > 40 horas en el modo «ahorro de energía».
Tiempo de carga	Menos de 4 horas.
Registro de datos	Pueden leerse vía infrarrojos > 1000 horas con 5 gases e intervalo de registro de 1 valor por minuto.
Funcionamiento con bomba	Longitud máxima de la manguera 30 m.

ESPECIFICACIONES

DETECTOR MULTIGAS DRÄGER X-am 5600

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



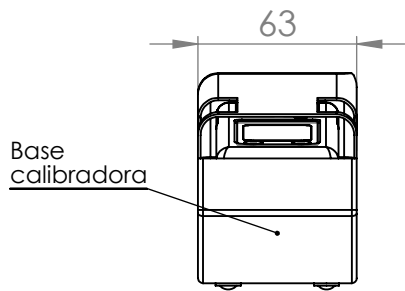
ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

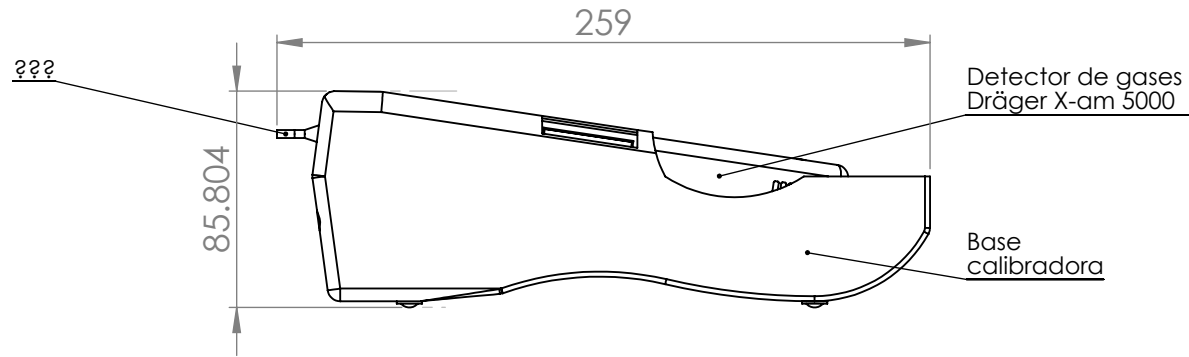
ACOT: mm

ESC: 1:2

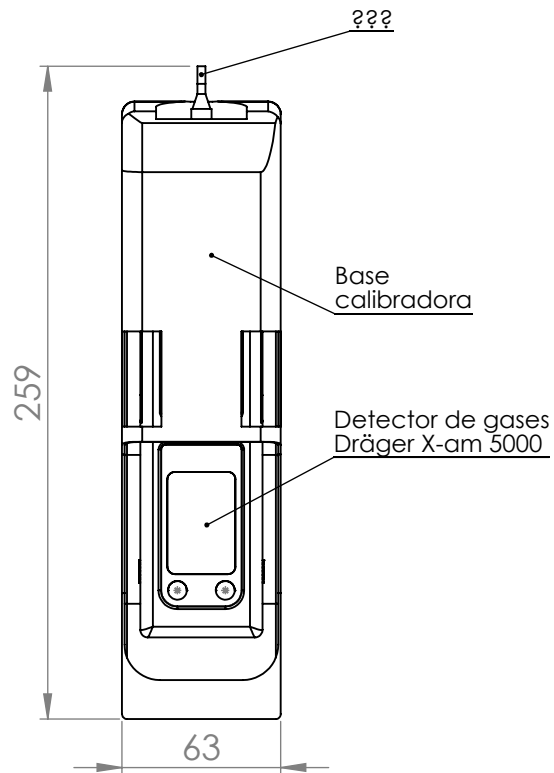
DET01



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



ISOMÉTRICO

DETECTOR DRÄGER + BASE CALIBRADORA

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

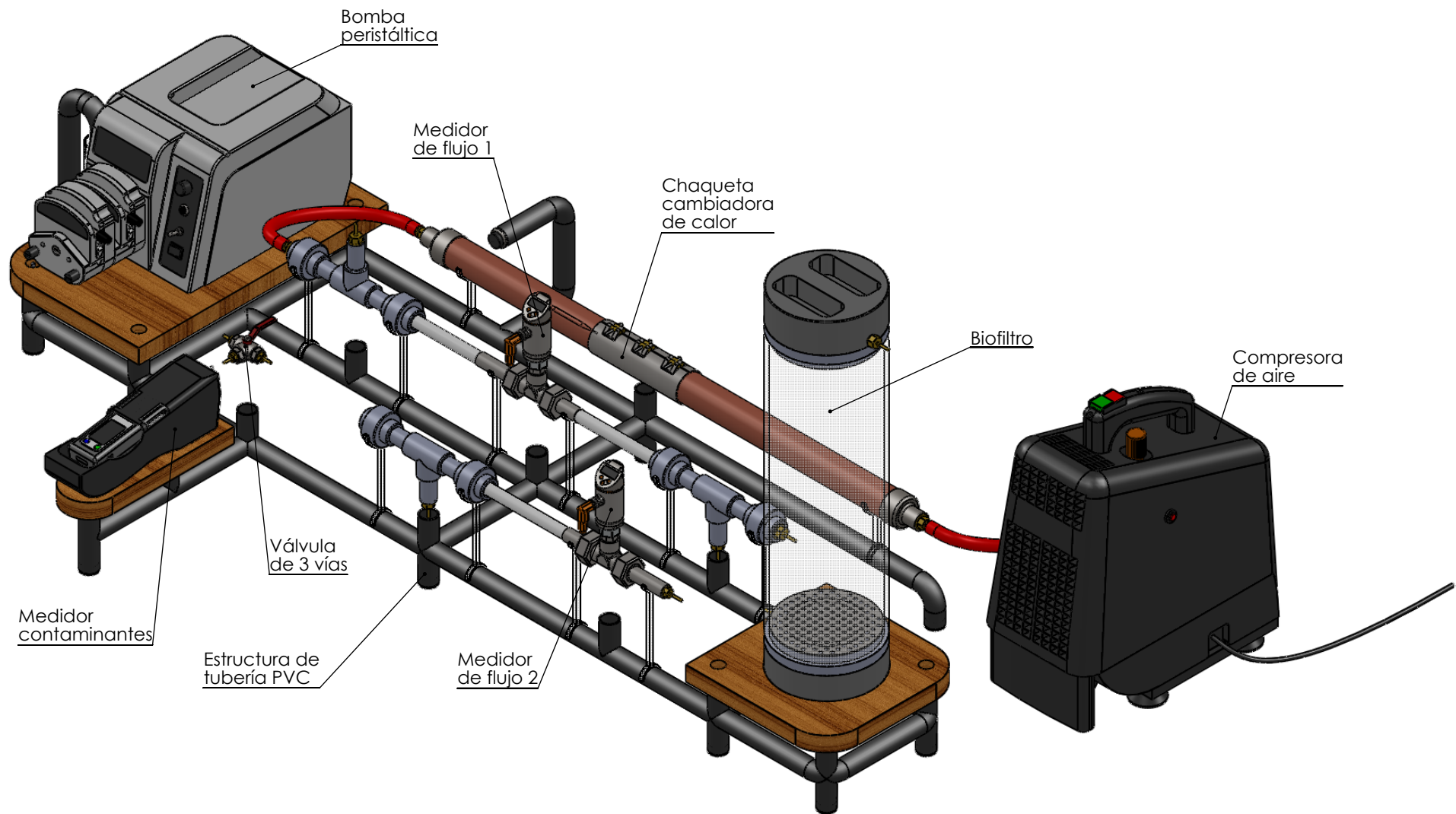
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

ACOT: mm

ESC: 1:3

DET02



ENSAMBLE DEL SISTEMA

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA

Facultad de Estudios Superiores
Acatlán

ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

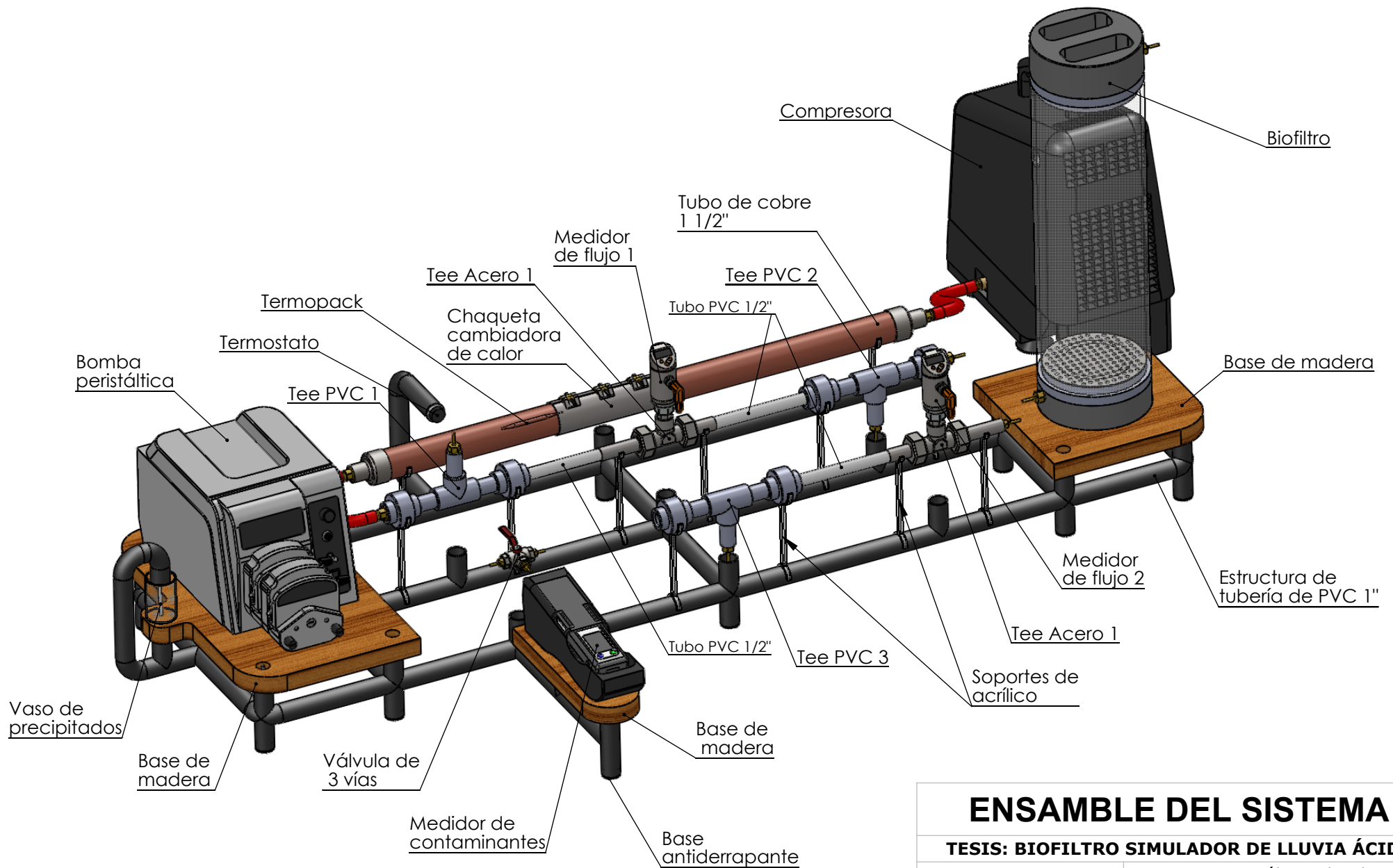
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

ACOT: mm

ESC: 1:7

ENS01



ENSAMBLE DEL SISTEMA

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA

Facultad de Estudios Superiores
Acatlán

ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

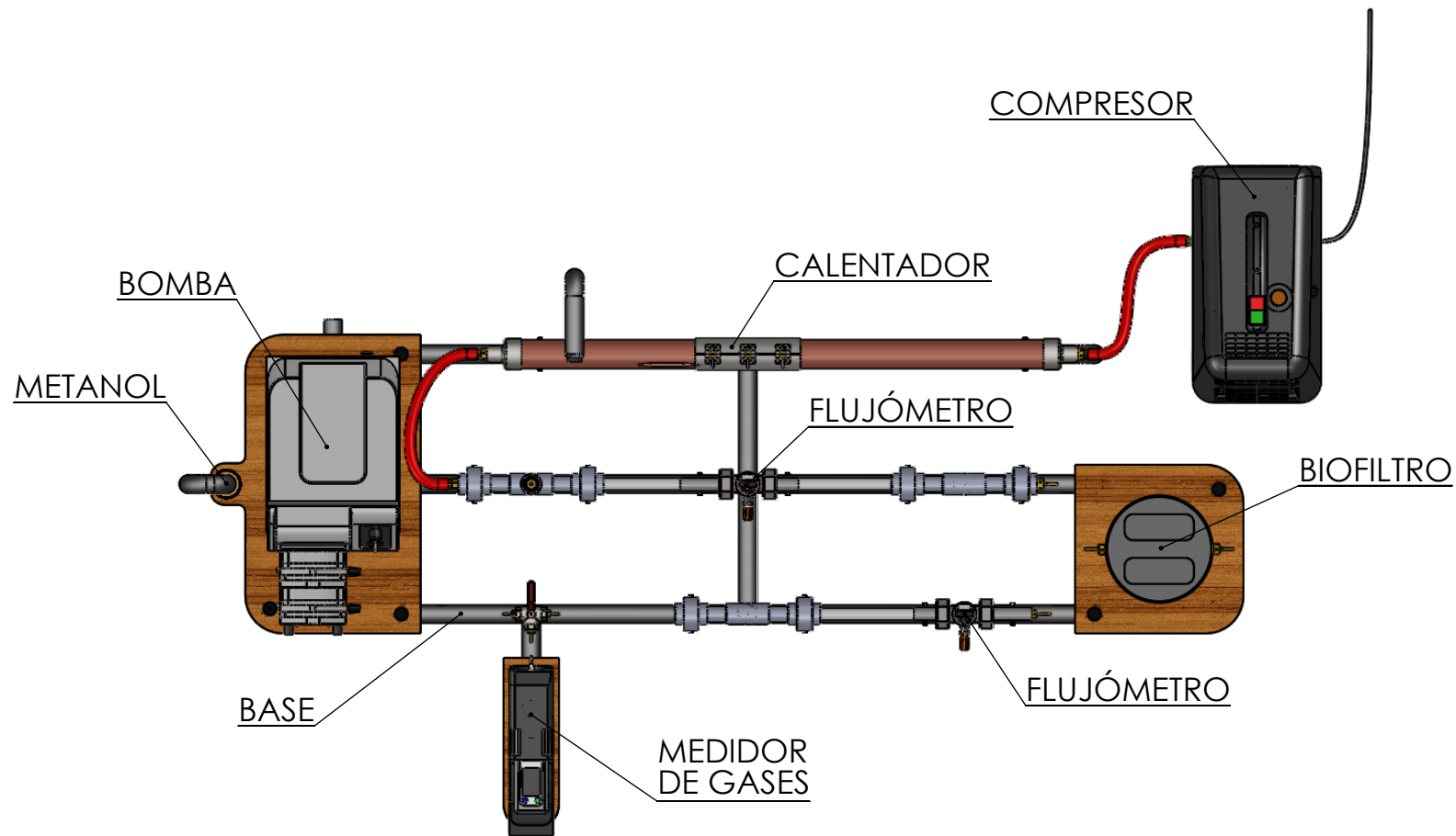
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

ACOT: mm

ESC: 1:7

ENS01a



ENSAMBLE DEL SISTEMA

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA

Facultad de Estudios Superiores
Acatlán

ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

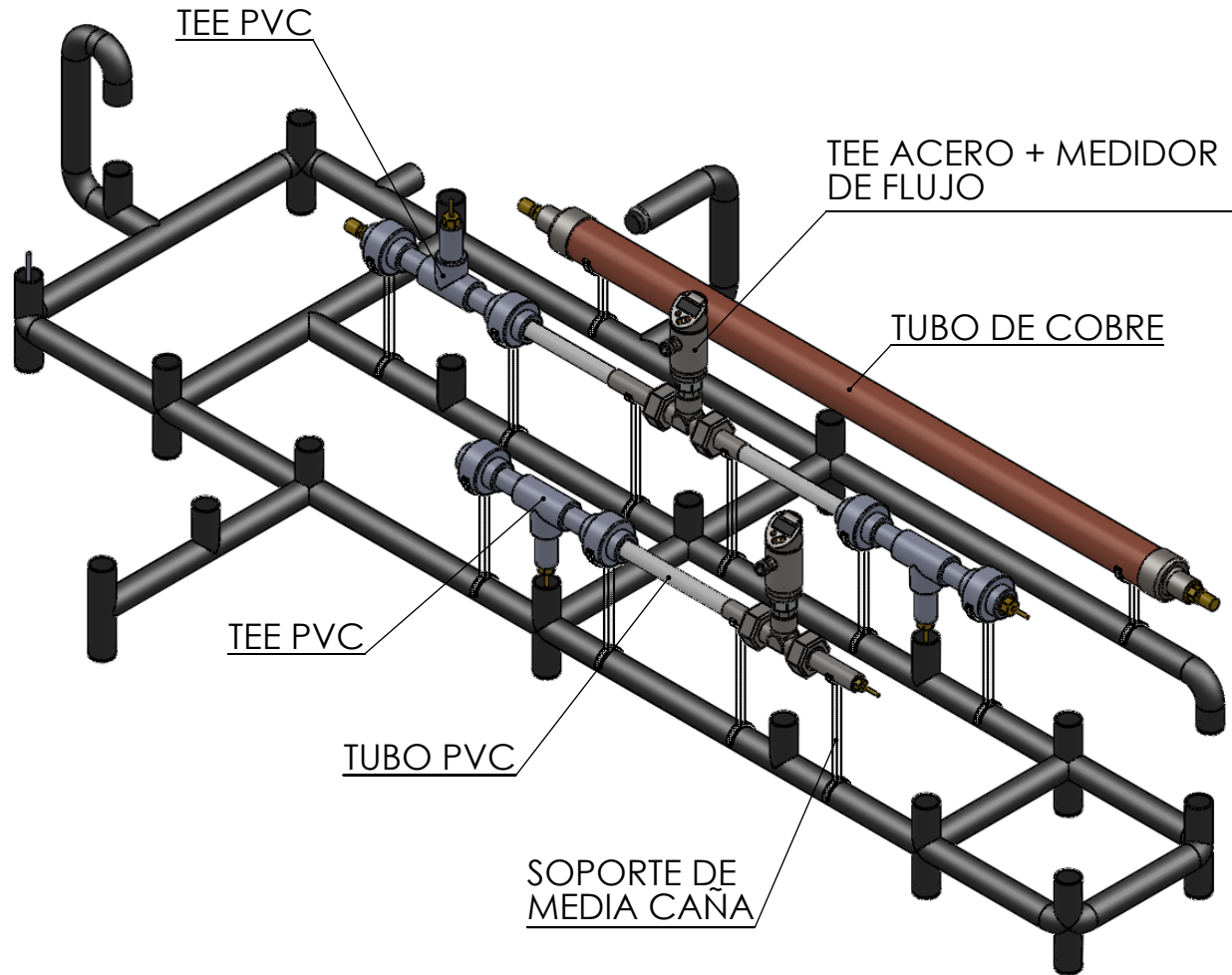
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

ACOT: mm

ESC: 1:5

ENS03



ENSAMBLE DEL SISTEMA

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

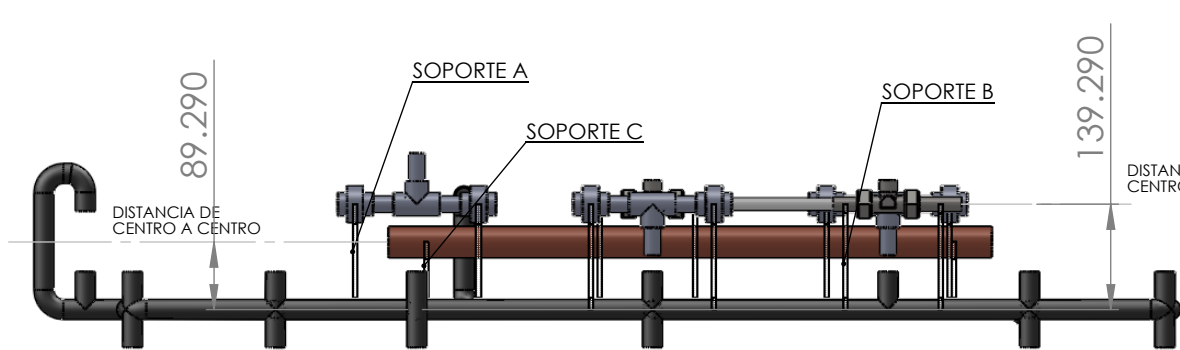
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

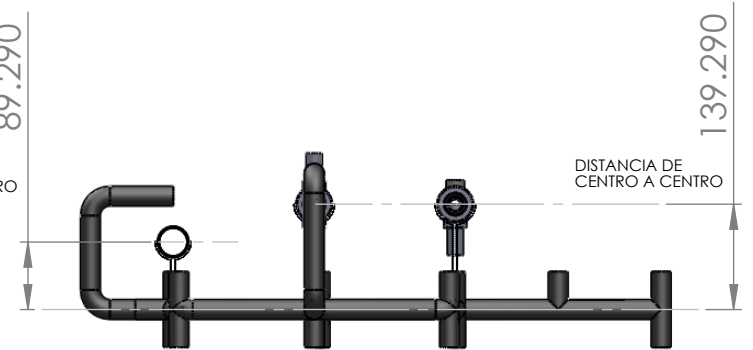
ACOT: mm

ESC: 1:7

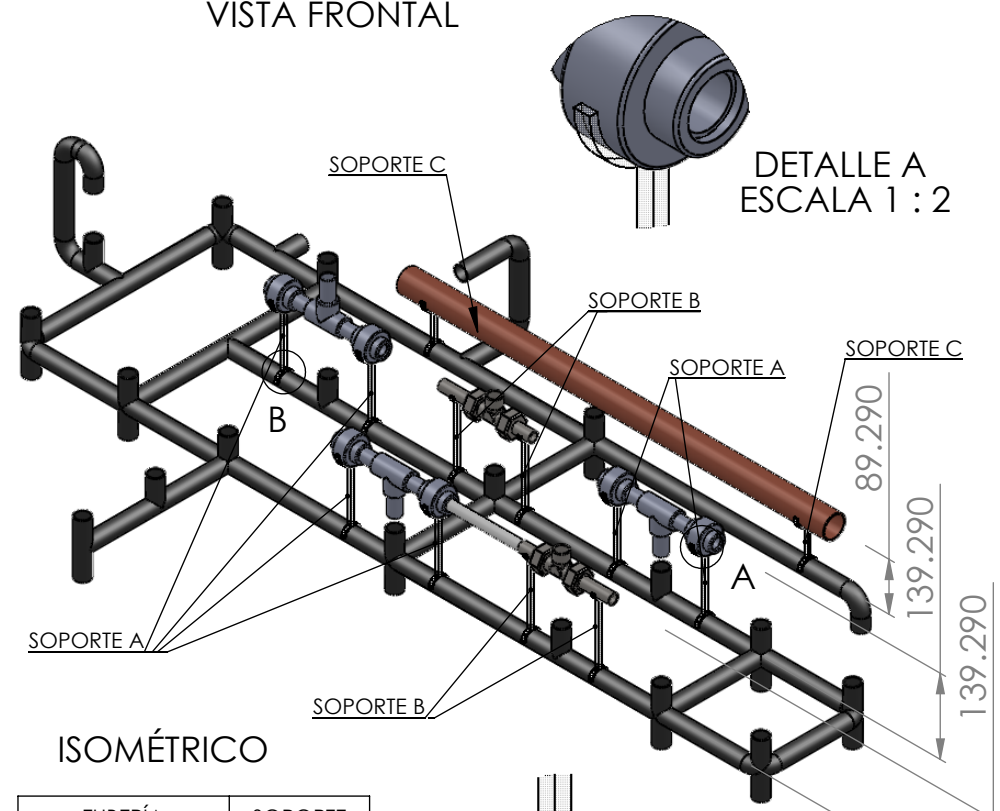
ENS01c



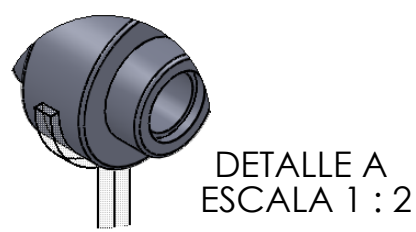
VISTA FRONTAL



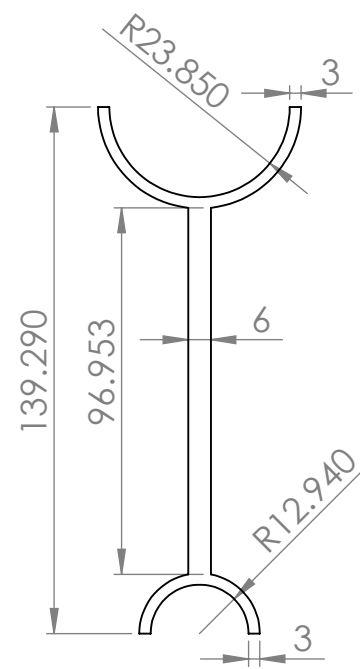
VISTA LATERAL



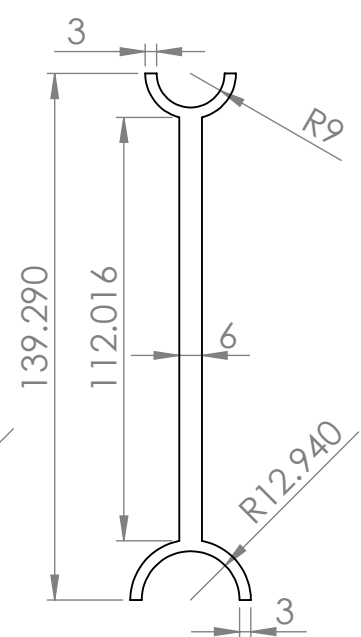
ISOMÉTRICO



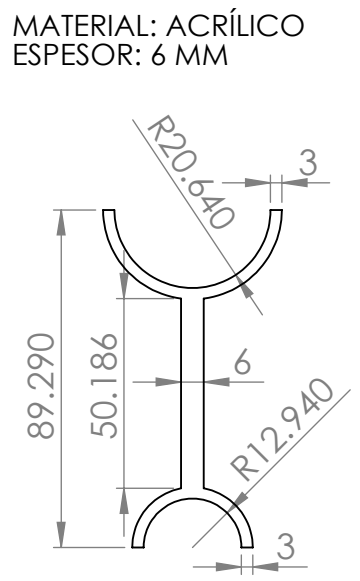
DETALLE A
ESCALA 1 : 2



SOPORTE A
ESC: 1:2



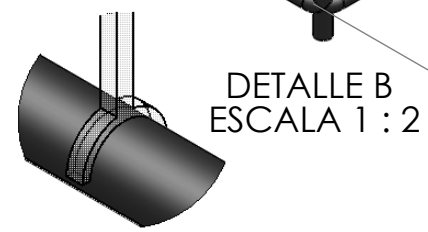
SOPORTE B
ESC: 1:2



SOPORTE C
ESC: 1:2

MATERIAL: ACRÍLICO
ESPESOR: 6 MM

TUBERÍA	SOPORTE
TEE PVC	A
TEE ACERO	B
COBRE 1 1/2"	C



DETALLE B
ESCALA 1 : 2

DETALLE DE SOPORTES

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

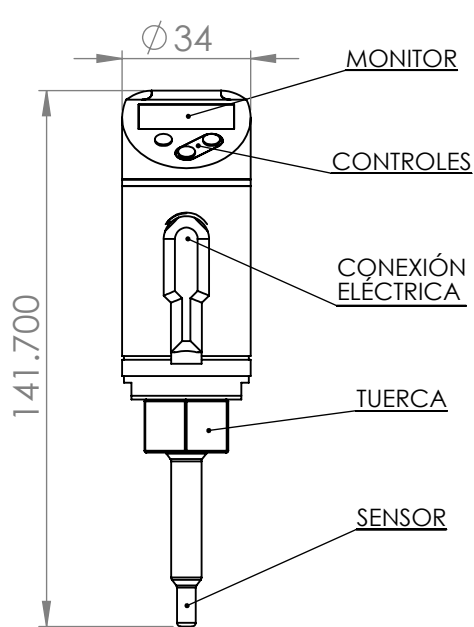
ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: Octubre 2017

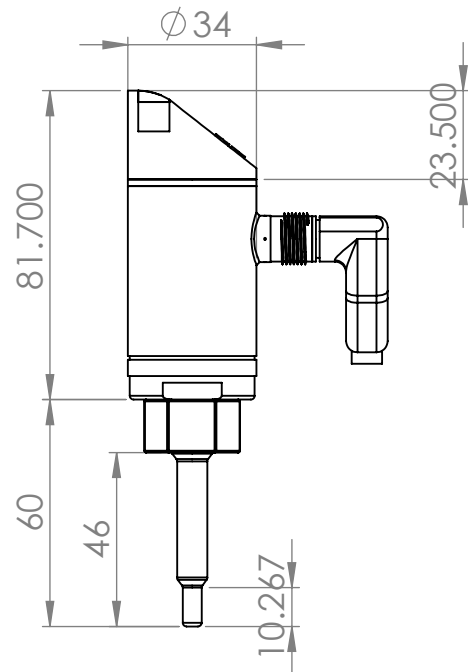
ACOT: mm

ESC: 1:10

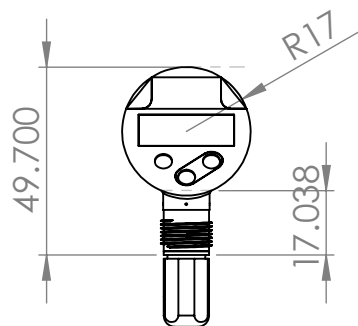
ENS02



VISTA FRONTAL



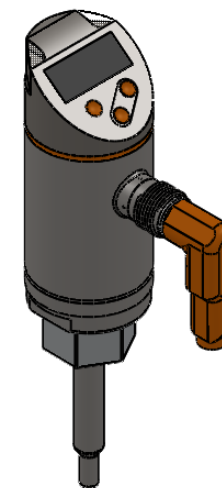
VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR

Marca	IFM
Modelo	SAxx00
Voltaje	18-30 V
Consumo de corriente	< 100 mA
Corriente máxima	250 mA
Precisión de medición de flujo	± 7 % del valor medido para agua.
Precisión de medición de temperatura	± 1 °C
Índice de protección	IP65 / IP67
Materiales	Acero y PBT
Tiempo de respuesta	0.5 seg para agua
Fluidos admisibles	Agua, aceites, glicol y aire.
Diámetros admisibles	0.16" a 1.6" (0.5 a 40 cm)

ESPECIFICACIONES



ISOMÉTRICO

FLUJÓMETRO IFM SAxx00

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



Facultad de Estudios Superiores
Acatlán

ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

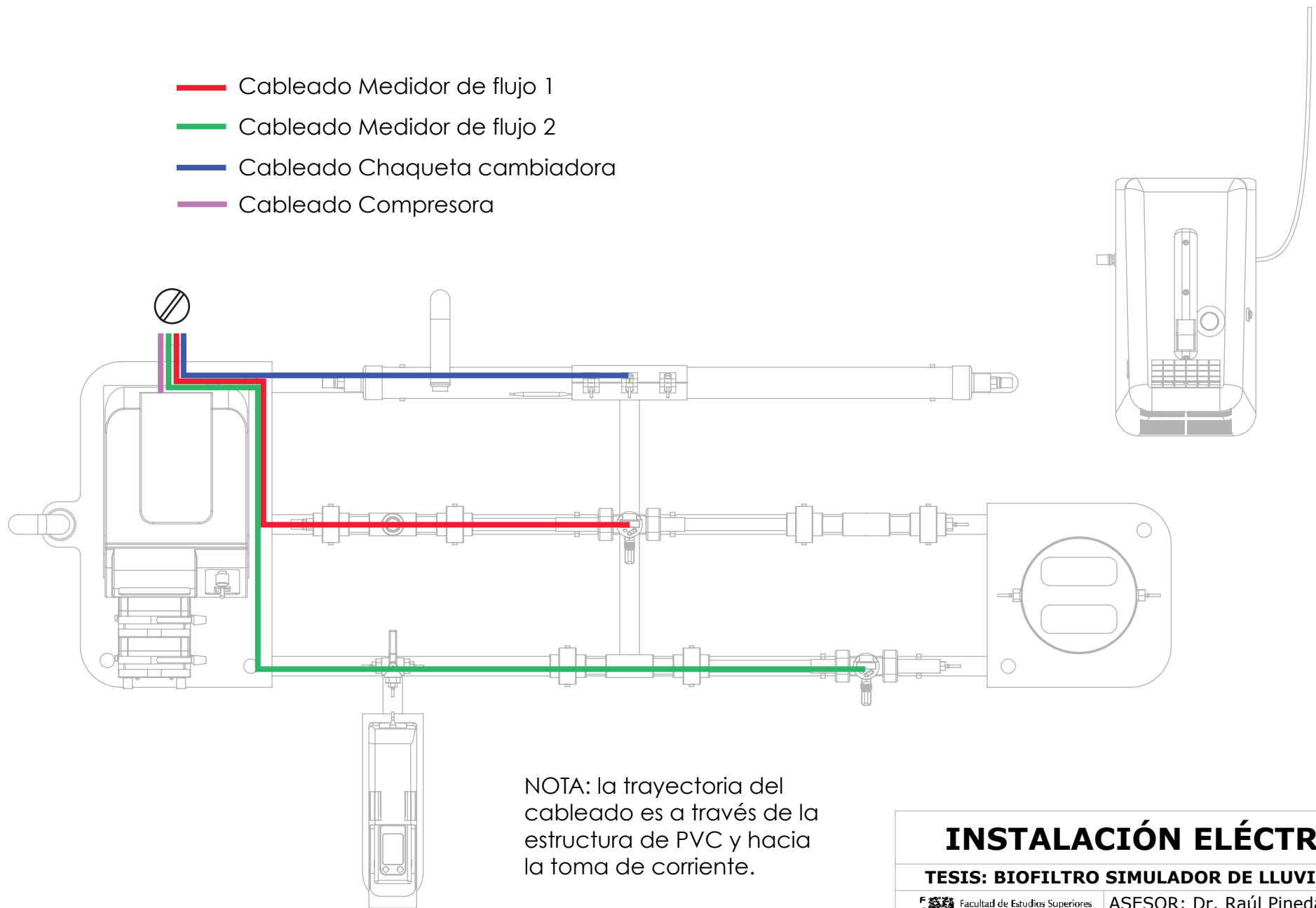
FECHA: Octubre 2017

ACOT: mm

ESC: 1:2

FLU01

- Cableado Medidor de flujo 1
- Cableado Medidor de flujo 2
- Cableado Chaqueta cambiadora
- Cableado Compresora



NOTA: la trayectoria del cableado es a través de la estructura de PVC y hacia la toma de corriente.

INSTALACIÓN ELÉCTRICA

TESIS: BIOFILTRO SIMULADOR DE LLUVIA ÁCIDA



Facultad de Estudios Superiores
Acatlán

ASESOR: Dr. Raúl Pineda Olmedo

ALUMNO: Pablo Corona Ugalde

FECHA: 30/06/2017

ACOT: mm

ESC: 1:7

IE01

Concurso PAIDI

Título

Cacallotech

Tipo de proyecto (de desarrollo, de innovación, unidisciplinario o multidisciplinario)

Diseño de prototipo, programa o modelo

Relación de los participantes

Mtro. Oscar Callejas Moreno
Pablo Corona Ugalde
Dr. Fermín Pérez Guevara
Dr. Raúl Pineda Olmedo

Modalidad del proyecto (Ver inciso 3 de Características de proyectos en los Criterios de Operación del PAIDI)

Diseño de prototipo, programa o modelo de intervención social

Resumen ejecutivo

Presentación sintetizada del proyecto (máximo dos cuartillas)

Ingrese un resumen del proyecto.

Marco de referencia

Describir cómo el proyecto está en congruencia con la necesidad social y/o la atención de una demanda en un campo específico y con líneas de investigación de la FES Acatlán.

Justificación

Explicar cómo el resultado proporciona beneficios asociados al fortalecimiento de la infraestructura tecnológica, equipamiento, prácticas de operación, capacidades del personal, competitividad, mejora tecnológica continua, atención a necesidades sociales y/o humanísticas, propuestas de políticas públicas, promoción de la cultura, entre otros.

Análisis de factibilidad

Documentar la capacidad del grupo de investigación para llevar a cabo el proyecto, así como las predicciones de factibilidad de la propia propuesta que contengan información acerca de las experiencias previas, en forma enunciativa, mas no limitativa: estudios de mercado, bechmarking y análisis de competitividad, estado actual de la ciencia (diagnósticos, patentes, publicaciones, tecnologías disponibles, productos y servicios actuales, requisitos legales, regulatorios y éticos), descripción de etapas, productos y/o materiales a entregar. Incluir los indicadores de medición de los avances. Describir los productos a entregar y la capacidad e los recursos humanos y técnicos involucrados.

Instituciones vinculadas al proyecto

Señalar, en su caso, las instituciones vinculadas con el proyecto y su participación o colaboración en el mismo

Método

Presentar los objetivos (general y los específicos, los cuales deberán estar en congruencia con el título del proyecto), población, análisis de la información, consideraciones éticas, entre otros. Asimismo, deberán identificarse los indicadores e instrumentos que se aplicarán en el desarrollo y evaluación del proyecto.

Resultados y beneficios esperados

Señalar el impacto y trascendencia del proyecto de investigación, así como los públicos beneficiados.

Productos

Señalar en forma enunciativa, más no limitativa: publicaciones, asesorías, intervenciones, productos de propiedad intelectual, innovación tecnológica, social y/o humanística, programas, entre otros, que se deriven del proyecto.

Cronograma de actividades

Fechas en las que se pretende presentar los avances y resultados, así como la publicación o aplicación de los mismos

Presupuesto concepto

Monto estimado

Justificación

Desglose

Selecciona una opción

Agregar concepto

Resumen ejecutivo

Se propone el diseño, la construcción y puesta en marcha de un equipo que permitirá simular con fines académicos el tratamiento de aire con fines de mejorar el ambiente laboral. Cabe señalar que adquirir equipos académicos-demostrativos con equipo de medición descriptivo es caro y generalmente se enfocan en mostrar tecnología costosa o la cual no se adecua a la realidad del país. El diseño tiene dos características importantes: i) se emplea una tecnología muy empleada y bastante eficiente, ii) es fácil de operar y de mantenimiento escaso y barato, así como iii) mezcla un diseño atractivo y equipo de fácil entendimiento visual.

Se empleará como tecnología de tratamiento de aire un biofiltro empacado con cáscara de cacahuete. Este biofiltro empleará como contaminante modelo metanol, el cual es un contaminante común en los sitios donde se requiere tratar el ambiente laboral, como es el caso de sitios donde se emplean tintas y solventes (Compuestos Orgánicos Volátiles, COV's). Como medidores de concentración de contaminantes en el aire se emplearán sensores electroquímicos con display que podrán determinar la concentración en línea, tanto en el influente como el efluente.

Marco de referencia

Actualmente la contaminación atmosférica genera grandes problemas al ser humano y a sus pertenencias. El origen de dicha contaminación es de origen antropogénico, principalmente, ya que el uso de combustibles y la generación de residuos en diversos procesos liberan estos contaminantes a la atmósfera. Por tratarse de grandes cantidades de aire es inviable tratar el aire ambiente, por lo que se debe enfocar este tratamiento al ambiente laboral, el origen de los contaminantes. Dentro de las tecnologías de tratamiento de aire, desde una perspectiva de ambiente laboral, la biofiltración ha demostrado ser una tecnología eficiente para un amplio espectro de contaminantes a amplios rangos de concentración. Específicamente para México se demostró que esta tecnología en conjunto con material de empaque local, compuesto por residuos agrícolas lignocelulósicos, es una alternativa tecnológica y económicamente viable. Sin embargo es poco conocida fuera del ámbito de investigación, por tal motivo se plantea diseñar y construir un prototipo con fines académicos para que esta tecnología

sea demostrada en los laboratorios de enseñanza de los futuros profesionistas. Cabe señalar que el adquirir este tipo de equipo es costoso para las instituciones de educación superior, y con este proyecto se pretende dar una alternativa a estas instituciones. De tal manera que es posible desarrollar este proyecto empleando la infraestructura de la Facultad incursionando en otro aspecto de la ciencia, la difusión de tecnología. Cabe mencionar que este proyecto es producto de investigación de más de 15 años de trayectoria, y forma parte de las líneas de investigación de nuestra Facultad.

Justificación

El fundamento del proyecto se basa en la posibilidad de desarrollar equipo de laboratorio, que si se compra de marcas dedicadas a la venta de equipo con fines académicos, a bajo costo y que puede permear en las diversas licenciaturas que se imparten en esta Facultad. Constituye una posibilidad de difundir el producto de más de 15 años de investigación en el área de biofiltración de efluentes gaseosos de nuestro equipo de trabajo. Por un lado se atiende la necesidad de tener un equipo demostrativo del tratamiento de aire que atienda las necesidades y requerimientos de nuestro entorno. Se requiere tratar el aire del ambiente laboral de las empresas que emplean tintas y solventes a bajo costo con tecnología capaz de eliminar los contaminantes del aire. Por otro lado se tiene la posibilidad de mostrar que se puede desarrollar tecnología propia, del campus, y que es tan valiosa que vale la pena difundirla y con la posibilidad de transferirla.

Por sí mismo este prototipo, constituye la posibilidad de reducir el impacto ambiental de las actividades de producción que generan a gran escala y a micro escala. Y es precisamente en esta última escala que tiene mayor impacto debido a que se depuraría el aire al que están expuestos los trabajadores y se liberaría a la atmósfera aire libre de contaminación. Con este prototipo, que se podría instalar en el laboratorio de medio ambiente y energía del posgrado de la Facultad, se atendería directamente a los alumnos de la carrera de Ingeniería civil en la materia de Ingeniería Ambiental pues se contaría con un equipo para la demostración del tema "tratamiento de aire". Sin embargo, también serviría para las materias optativas de impacto ambiental y modelos de ingeniería ambiental. No obstante, también podría emplearse para las materias de instalaciones II, en ingeniería civil, instalaciones especiales, en arquitectura, y para diversas aplicaciones de los alumnos de matemáticas aplicadas y computación.

El equipo de trabajo, a pesar de ser de profesores de la carrera de ingeniería civil son especialistas en su campo de conocimiento, toda vez que se cuenta con personas con experiencia en los diversos temas que se tocan en el proyecto. Adicionalmente, se contempla la formación de recursos humanos que podrán ver todo un esquema de infraestructura relacionada con el tratamiento de aire, área poco explorada por ingenieros civiles, y poner en práctica sus conocimientos que tienen y afinar su formación. Adicionalmente, al ser un proyecto en el que colaboran profesores de las áreas de hidráulica y ambiental fortalece la multidisciplinaria al interior de la carrera para formar grupos de investigación y buscar su consolidación a mediano plazo.

Análisis de factibilidad

El Ing. Ricardo García Valdivia apoyará en la instrumentación y medición en general, toda vez que cuenta con una amplia experiencia profesional en el tema y que presta servicios de consultoría profesional en el tema por más de 10 años. El M. en C. Óscar Callejas Moreno será responsable de la calibración y validación de los equipos de medición en los talleres y laboratorios de ingeniería con base en el equipamiento existente, para lo cual tiene amplia experiencia profesional y de investigación. La M. en C. Claudia Lizett Rivera Valdovinos estará a cargo del monitoreo de las mediciones obtenidas, de lo cual tiene amplia experiencia. En conjunto el equipo de trabajo interpretará resultados y propondrán el modelo respectivo. El Dr. Raúl Pineda Olmedo y el alumno Pablo Corona Ugalde estarán a cargo del diseño, construcción, procura y puesta en marcha del equipo. El Dr. Pineda tiene amplia experiencia en el diseño y construcción de equipos de biofiltración a escala laboratorio, así como en técnicas de medición de efluentes gaseosos. El C. Corona terminó su segunda carrera como ingeniero civil, su primer carrera es ingeniero industrial, por lo cual tiene amplia trayectoria en el diseño de instrumental y equipo. Cabe mencionar que con este proyecto el C. Corona se titulará en la modalidad de tesis en la carrera de Ingeniería Civil de esta Facultad. Dado que el objetivo del proyecto es diseñar y construir un equipo de biofiltración a escala laboratorio con fines académicos, el equipo de trabajo es el adecuado para llevar a buen término el proyecto; así como su aporte potencial como equipo de trabajo a la metas del proyecto hacen que sea viable el proyecto y la consecución de objetivos y metas. Se planea tener un equipo demostrativo en los laboratorios de esta Facultad. Adicionalmente se adquirirá equipamiento adicional de los laboratorios de ingeniería para complementar la instrumentación y, en un futuro, la formación de los estudiantes. Se plantea que la información obtenida y su análisis puedan ser suficientes para obtener los siguientes documentos técnicos: una publicación nacional arbitrada, una tesis de licenciatura y un prototipo construido. Cabe mencionar, que el prototipo construido tendrá la posibilidad de ser patentable y comercializable a mediano plazo.

Instituciones vinculadas al proyecto

FES Acatlán desarrollará el diseño de prototipo, construirá y pondrá en marcha
CINVESTA Depto. de Biotecnología apoyará en el diseño del prototipo y construcción del mismo.

Método

El objetivo general del proyecto es diseñar y construir un equipo de biofiltración a escala laboratorio con fines académicos, que sea capaz de demostrar de manera cuantitativa la degradación de un contaminante en fase gaseosa. Los objetivos específicos son:
 Emplear el equipo construido para la materia de ingeniería ambiental.
 Diseñar el equipo de biofiltración para que tenga un aspecto atractivo y que pueda dar indicios de que es sustentable.
 Proponer un equipamiento para tener: acceso visual a todo el filtro, humedad relativa del medio adecuada, una concentración de metanol en fase gaseosa adecuada, una corriente de aire constante, capacidad de medir en tiempo real la concentración de metanol en el aire influente y efluente.
 Tener una maqueta virtual del prototipo.
 Generar planos de taller.
 Ensamblar el prototipo y hacer pruebas de paro-arranque.
 Los indicadores de desempeño del proyecto son: metas programadas/metas logradas=0.85, alumnos graduados/profesor=0.2.

Resultados y beneficios esperados

El impacto inmediato es hacia los alumnos de la materia de Ingeniería Ambiental de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad. A mediano plazo, este prototipo podría ser empleado para demostrar instalaciones y realizar experimentos tanto en las carreras de ingeniería civil y arquitectura así como en la de matemáticas aplicadas y computación. Se contará con un equipamiento adicional de los laboratorios de ingeniería para complementar la formación de los estudiantes, el cual es producto y diseño de la comunidad de la FES Acatlán. Adicionalmente, se difundirán los resultados de investigación de más de 15 años en el tema en nuestra Facultad al poder patentar y comercializar el prototipo, el cual es único en su tipo en México. Una tesis de licenciatura y un alumno graduado. Así como un manual de operación.

Productos

Un prototipo completo con capacidad de funcionamiento y medición en tiempo real.
 Un Manual de operación.
 Una Tesis de Licenciatura.
 Un alumno graduado.
 Para un segundo año se podría tener:
 Pruebas de calibración y puesta en marcha.
 Diseño y realización de experimentos con fines académicos.
 Gestión de patente.

Cronograma de actividades

Diseñar el equipo de biofiltración para que tenga un aspecto atractivo y que pueda dar indicios de que es sustentable (meses 1 a 3).
 Proponer un equipamiento para tener: acceso visual a todo el filtro, humedad relativa del medio adecuada, una concentración de metanol en fase gaseosa adecuada, una corriente de aire constante, capacidad de medir en tiempo real la concentración de metanol en el aire influente y efluente (meses 2 a 4).
 Procura del equipamiento (meses 4 al 8).
 Tener una maqueta virtual del prototipo (meses de 4 a 8).
 Generar planos de taller (meses de 7 a 9).
 Ensamblar el prototipo (meses de 8 a 10).
 Realizar pruebas de paro-arranque (meses 10-11).
 Generar Manual de usuario (meses 7 a 10).

Presupuesto concepto	Monto estimado	Justificación	Desglose
Equipo de cómputo	35000	Equipo necesario para diseño de prototipo, modelado y animación	Equipo de cómputo portátil con procesador core i7, memoria ram de 16 Gb, tarjeta de gráficos nvidia
Equipo e instrumental	38599	Bomba necesaria para dosificar la cantidad exacta de metanol para obtener la concentración requerida	Bomba peristáltica de precisión con display digital, con número de catálogo DWT600-2J
	65632	Analizadores de vapores de metanol en línea, se colocarán antes de la entrada al filtro y a la salida	X-am 5000 w/o Sensor; con NiMH bacteria recargable y cargador, con sensor electroquímico y accesorios para toma de muestra
	7499	Equipo necesario para generar el material necesario para el manual de	Cámara fotográfica con zoom óptico 60x con resolución de 16 megapixeles

		usuario y Generar la evidencia de las etapas del proyecto	
	7043	Equipo necesario para crear la corriente de aire que se tratará.	Compresor de aire Thomas 1/12 HP, 0.56 cfm
Artículos, materiales y útiles diversos	876	Reactivo necesario para emplearlo como contaminante modelo	Metanol grado HPLC, 2 Galones
	745	Memoria necesaria para almacenar la información obtenida con la cámara fotográfica	Memoria SD para cámara fotográfica
	15000	Conexiones eléctricas y mecánicas necesarias para ensamblar los equipos al prototipo	Conexiones para aire y eléctricas
	3500	Tonér, impresiones y papelería en general para generar los modelos, maquetas virtuales y planos de taller.	Materiales de papelería
	1100	Adquisición de libros relacionados con el estado del arte del tema del proyecto.	Acervo bibliográfico
Otros servicios comerciales	20000	Impresión 3d y construcción de las partes del prototipo según los planos de taller desarrollados	Elaboración de las partes del prototipo
	5000	Servicios de construcción de prototipo y ajuste de piezas	Servicios especializados de torno para la construcción de prototipo
Suma	199994		

Home » Electrónica » Fotografía » Cámaras Digitales » Nikon Coolpix P610

[Artículo anterior](#)



3" | 16 | 60X

Nikon Coolpix P610

\$7,499

Item # 632956
Modelo: P610

CANTIDAD [Añadir al carrito](#)

[Inicia sesión para utilizar Mi lista de Deseos](#)

[Especificaciones](#) [Detalles del artículo](#) [Términos de Entrega](#)

Peso: 0.56kg
Zoom: Óptico 60x
Dimensiones: 12.50cm frente x 10.65cm profundo x 8.50cm alto
Color: Negro
Marca: Nikon
Tamaño de Pantalla: 3 pulgadas
Megapíxeles: 16



Las imágenes son ilustrativas, no constituyendo en ningún caso una relación exacta y exhaustiva del producto.

ENVÍO SIN COSTO* **DESCUENTOS EN TODAS TUS COMPRAS*** **OBTÉN TU REGALO**

Compresor Aire 1/12 HP 0.56 Cfm

THOMAS

Grainger: WS4Z791

Fabricante: 900-59

Pág catálogo: 2794

Precio: **\$6,071.48 MN + IVA** Cantidad: **1** **AGREGAR >**
Producto con 15% de descuento ya aplicado.

El precio que se presenta puede ser diferente para tu Acceso. Identificate con tu Email y Contraseña o regístrate aquí.



Inicia sesión para conocer el inventario disponible o regístrate aquí.

Descripción:

Compresor de Aire 1/12 HP 0.56 Cfm 20 PSI 115V. Máxima Presión Intermitente (PSI) 35. Máxima Presión Continua 20. Salida Npt (H) (Pulg) 1/4. 60Hz. Longitud 8". Ancho 4-3/4". Altura 6-3/4"

Especificaciones Técnicas

MAX PRESIÓN INTERMITENTE (PSI):	35	MAX PRESIÓN CONTINUA:	20
SALIDA NPT (H) (PULG):	1/4		

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN
COMITÉ DE FOMENTO A LA INVESTIGACIÓN
PROGRAMA DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA
INNOVACIÓN (PAIDI)

Carta Compromiso

DR. RAÚL PINEDA OLMEDO, Responsable Académico del Proyecto *Cacallotech*, notificado mediante el oficio número **FESA/COFI/003/2015**, de que el proyecto recibirá financiamiento económico conforme a los Criterios de Operación para el Programa de Apoyo a la Investigación para el Desarrollo y la Innovación (PAIDI), acepto y me comprometo a desarrollar las actividades en él contempladas, así como llevar a cabo en lo sucesivo el seguimiento del mismo, rendir el informe y presentar los productos comprometidos, de acuerdo a las siguientes:

B A S E S

- Primera.- El proyecto PAIDI antes señalado, tiene la duración de un año. Su renovación deberá sujetarse a los criterios que señale el Comité de Fomento a la Investigación.
- Segunda.- La descripción y el cronograma de actividades del proyecto quedarán contenidos en el expediente con clave PAIDI/003-15, en poder de la Secretaría General de la FES Acatlán, manifestando mi conformidad en desarrollarlo con arreglo a lo previsto y a la asignación presupuestal, emitida por el Comité de Fomento a la Investigación, cumpliendo para ello con el cronograma de actividades y objetivos contenidos en el mismo.
- Tercera.- Para la ejecución del proyecto, se contará con la aportación de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán por un monto de **\$200,000.00 (doscientos mil pesos 00/100 M.N.)**, mismo que será asignado por la FES Acatlán a la Secretaría Administrativa y desglosado de conformidad a las siguientes partidas presupuestales:

Clave de la partida	Concepto	Monto asignado
243	Otros servicios comerciales	\$25,000.00
411	Artículos materiales y útiles diversos	\$21,221.00
512	Equipo e instrumental	\$118,779.00
514	Equipo de cómputo	\$35,000.00
Total:		\$200,000.00

- Cuarta.- El Comité de Fomento a la Investigación coordinará y administrará el PAIDI conforme a la Convocatoria y a sus Criterios de Operación.

La administración de los proyectos, así como de los recursos que se les otorguen para el PAIDI, estarán a cargo del responsable del proyecto a través de la Secretaría Administrativa. Los recursos asignados se emplearán exclusivamente para cumplir con los objetivos y metas definidas en el proyecto aprobado y en los términos establecidos por el presupuesto asignado al mismo, debiéndose ejercer el gasto de los recursos durante el periodo presupuestal.

Quinta.- El enlace académico de este programa será la Secretaría General de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, y tendrá como responsabilidad impulsar, difundir y apoyar la gestión académica de los proyectos y productos generados con apoyo PAIDI, así como procurar la utilización de los mismos, y por lo tanto mantendrá estrecha comunicación con los responsables académicos.

Sexta.- Los responsables académicos estarán obligados a informar, a solicitud del Comité de Fomento a la Investigación, sobre la aplicación e impacto de los productos generados en los proyectos PAIDI, durante su desarrollo e incluso después de ser concluidos. La ejecución y administración de los proyectos deberá sujetarse a lo señalado en la Convocatoria PAIDI vigente, sus Criterios de Operación y lo estipulado en esta Carta Compromiso.

Séptima.- Los recursos financieros asignados y aprobados a una partida pueden transferirse a otra de acuerdo con las necesidades de cada proyecto, siempre y cuando esté justificado y no se trate de recursos asignados a BECAS PARA ALUMNOS DE LICENCIATURA Y POSGRADO EN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN.

Octava.- Los proyectos deberán considerar el máximo aprovechamiento del equipo, instalaciones y apoyo técnico disponible de la FES Acatlán, y en su caso de otras entidades participantes, no debiendo ser destinados a ningún otro fin distinto al proyecto aprobado.

Novena.- Todo equipo e infraestructura material adquirido con recursos del PAIDI y destinados al proyecto, así como los derechos de propiedad intelectual que se deriven de los productos finales serán propiedad de la FES Acatlán.

Una vez concluido el proyecto, los equipos adquiridos deberán asignarse a funciones académicas, preferentemente a la continuidad de los productos generados y/o al área de conocimiento en la que se desarrolló el mismo.

Décima.- El Comité de Fomento a la Investigación tendrá la facultad de supervisar, suspender y/o solicitar la auditoría del ejercicio de los

recursos asignados al responsable académico para el desarrollo del proyecto en los siguientes casos:

- a. Una vez cumplido el plazo dispuesto en la Base Primera.
- b. Cuando dichos recursos no estén comprobados en su totalidad.
- c. Cuando el Comité de Fomento a la Investigación así lo requiera.

La Dirección General de Patrimonio Universitario y la Contraloría tendrán la intervención que les confieren las disposiciones universitarias vigentes.

Santa Cruz Acatlán, Estado de México, a 26 de agosto de 2015.

DR. RAÚL PINEDA OLMEDO
Responsable Académico del Proyecto

DR. JOSÉ ALEJANDRO SALCEDO AQUINO
Presidente
Comité de Fomento a la Investigación