

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CÁMARA DE AMBIENTACIÓN PARA  
REACTORES ANAEROBIOS PILOTO

T E S I S  
QUE PASA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

P R E S E N T E  
SHIRLEY TARYN SÁNCHEZ ANCENCIO

D I R E C T O R :  
ING. JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ PÉREZ

CD. UNIVERSITARIA MEXICO, D.F. 2002



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.

43

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CÁMARA DE AMBIENTACION PARA  
REACTORES ANAEROBIOS  
PILOTO

DIRECTOR DE TESIS:  
ING. JOSE LUIS RODRÍGUEZ PÉREZ

ALUMNA:  
SHIRLEY TARYN SÁNCHEZ ASCENCIO

SEPTIEMBRE 02

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CÁMARA DE  
AMBIENTACIÓN PARA  
REACTORES  
ANAERÓBIOS PILOTO.**

# ÍNDICE

1. Introducción	5
2. Importancia y aplicación de los reactores anaerobios	7
3. Descripción de los reactores piloto enfocados a la investigación	10
4. La cámara de ambientación	13
4.1 Premisas y conceptos actuales que justifican su existencia	13
4.2 Alternativas en el proceso	15
4.3 Determinación de los criterios de diseño fundamentales	17
4.4 Delimitación de los parámetros de diseño	18
5. Diseño del contenedor	19
5.1 Dimensiones externas	20
5.2 Alternativas fundamentales para la solución de formas internas y su análisis	21
5.3 Diseño definitivo	24
6. Controlador de temperatura	29
6.1 Diseño fundamental del circuito electrónico	31
6.1.1 Descripción de funciones	31
6.1.2 Fuente de poder y unidad de potencia	33
6.1.3 Circuito de monitoreo y control de temperatura	36
6.2 Convección y circulación forzada de aire	41

6.3	Efectos de la extracción y renovación de aire	42
6.4	Consideraciones del equipo de calefacción	43
7.	Requerimientos mínimos de seguridad	47
7.1	Aspectos químicos y biológicos	47
7.2	Materiales y elementos contra incendio	48
7.3	Consideraciones para atmósferas inflamables	49
7.4	Precauciones y recomendaciones al usuario	50
8.	Medidor de concentración de biogás	51
8.1	Alternativas de medición	51
8.2	Diseño fundamental del circuito	53
8.3	Aspectos complementarios para la medición de biogás	57
8.4	Alarmas, indicadores y controles necesarios	58
9.	Integración del diseño	59
9.1	La unidad electrónica completa	59
9.2	Distribución de elementos activos	61
9.3	Distribución y formas de elementos pasivos	63
9.4	Materiales preferidos para la construcción	67
9.5	El diseño mecánico completo	68
10.	Instalación, mantenimiento y transporte	70
11.	Especificaciones	72
12.	Conclusiones y resultados	73
13.	Referencias bibliográficas	75

## CAPITULO I

# INTRODUCCIÓN

El objetivo principal en esta tesis, es apoyar a los investigadores del área de Ingeniería Ambiental, enfocados al estudio de tratamiento de aguas residuales por medio de procesos anaerobios, más adelante se explicará en qué consiste este proceso y la importancia que, hoy en día, ha adquirido.

Esencialmente, la parte a la que debemos dirigir la atención en este trabajo es hacia el desarrollo de una cámara que permita lograr las condiciones adecuadas de operación y seguridad para trabajar,\* estudiar y modificar dichos reactores a nivel piloto. Con esto, el investigador del área puede explorar de cerca el comportamiento de cada reactor antes de aplicar variaciones a escala industrial.

Uno de los aspectos importantes de esta tesis, es que se pretende llevar a cabo la construcción física de esta cámara, que una vez terminada, se instalará en los laboratorios del Instituto de Ingeniería de esta Universidad.

La cámara requiere alojar a cuatro reactores independientes con sus respectivos accesorios, además de brindar al operador facilidades para hacer las manipulaciones adecuadas, así como el mantenimiento correspondiente.

Los requerimientos y detalles para el diseño, así como las especificaciones básicas del sistema se describen en los próximos capítulos

Debe considerarse la existencia de eventuales derrames de líquidos o gases en el interior de la cámara, y en caso de existir alguno de ellos plantear la solución al adecuada, ya que esto puede producir problemas mayores, debido a que los líquidos contiene materiales biológicos y los gases son básicamente combustibles.

Considerar los aspectos ergonómicos facilita la limpieza interna y en general, todo el manejo de la cámara, evitando así el desarrollo de biopelículas y reduciendo los tiempos requeridos de los operadores.

Este proyecto debe cubrir todas las necesidades actuales que de alguna manera, desde hace varios años, se han venido resolviendo y de ser posible mejorar cada una de las condiciones ya existentes, como podría ser entre muchos otros puntos, el consumo energético.

En los dos siguientes capítulos se describe la importancia de este proyecto, así como la aplicación de los reactores anaerobios. El capítulo cuatro tiene como objetivo definir los principales parámetros de diseño del conjunto. En los capítulos cinco y seis se revisa el diseño del contenedor como unidad mecánica y el sistema electrónico para estabilizar la temperatura, fuente de poder y planteamiento general. Posteriormente, se analizan algunos aspectos básicos de seguridad en el capítulo siete. Mientras que en el ocho, se describe la medición de concentración de metano.

Por su parte, en el capítulo nueve se revisan los aspectos relacionados con la integración de las partes anteriores a modo de producir un solo producto. Y por último, en los siguientes capítulos se dan algunas recomendaciones para la instalación y mantenimiento, las especificaciones generales y las conclusiones obtenidas de este proyecto.

## CAPITULO II

# IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LOS REACTORES ANAEROBIOS

En la actualidad el consumo de agua potable en nuestro país es impresionantemente grande y cada vez aumenta conforme crecen las zonas urbanas. Este suministro de agua podría llegar a más zonas si se le diera un uso más razonable, destinando el agua potable para cuestiones de gran prioridad como son las alimenticias y de aseo personal, entre otras.

Otro tipo de agua es adecuado para aplicaciones en las que no es primordial la potabilidad, como el caso del riego de áreas verdes o algunos usos industriales. Para esta finalidad se emplea agua de desecho pasada por un proceso adecuado, que puede consistir en métodos físicos, químicos, biológicos o una combinación de ellos.

Las técnicas físicas son dispositivos que retiran algunas partículas o elementos sólidos del agua, mediante elementos mecánicos, o basándose en alguna otra propiedad como la viscosidad o la densidad, entre otras.

Los métodos químicos consisten en provocar algunas reacciones internas que precipiten algunos de los elementos contaminantes para facilitar su extracción mediante una técnica física. Otra aplicación, es la aportación de sustancias que ayuden a mejorar la calidad del agua sin causar algún tipo de consecuencias importantes como es el caso del cloro para potabilizar.

Por último, los procesos biológicos tienen la característica de transformar algunos de los elementos nocivos que contiene el agua, en otros no nocivos o al menos, no tan nocivos, mediante el desdoblamiento de moléculas complejas. Por lo anterior, la Ingeniería Ambiental continúa experimentando y estudiando los

procesos con agua residual, buscando mejorar cada técnica y ampliar la cobertura en las aplicaciones.

Este proceso de degradación de materia orgánica es realizado en un digestor también conocido como reactor. Y puede ser de tipo aerobio o anaerobio, dependiendo si requiere de la presencia o ausencia de oxígeno.

A su vez, estos dos grupos cuentan con una serie de variantes cada uno, cuyo comportamiento y aplicación es específico.

Dentro de los reactores anaerobios, encontramos ciertas ventajas comparativas contra los aerobios. Uno de los procesos anaerobios avanzados, que han hecho posible que el tratamiento de aguas residuales sea económico y atractivo, es el reactor anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente (UASB por sus siglas en inglés: Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Este tipo de reactor es actualmente el más utilizado a nivel mundial para tratar afluentes industriales y, que por sus características y ventajas, se adapta adecuadamente al medio mexicano.

La UNAM a la fecha, ha desarrollado y adaptado varios reactores basados en este concepto.

La aplicación de este tipo de reactores es manejar agua proveniente de la refinación del azúcar de caña.

La caña es la materia prima del proceso y de ella obtenemos azúcar y melaza, este último elemento se aprovecha para la producción de alcohol mediante un proceso de fermentación. Por cada litro de alcohol se producen doce de vinaza, que es un agua residual con un alto índice de contaminación por materia orgánica e inorgánica. La finalidad del reactor UASB es aprovechar dicha vinaza para obtener un agua de mejor calidad.

Actualmente, se enfoca todo este esfuerzo a alcanzar un ahorro importante en el consumo de agua potable en las grandes ciudades y en los grandes grupos industriales.

Por otra parte, como consecuencia de este proceso, existe un desprendimiento de gas metano que se puede utilizar como combustible.

Los procedimientos anaerobios se han empleado en China desde el siglo pasado para la obtención de biogás y se emplean actualmente en Francia y Alemania donde existen instalaciones para su producción. Una vez extraído el gas de los depósitos en los que se generó, se puede usar lo que queda de la materia biodegradable como un excelente fertilizante. Cabe hacer notar que este tipo de fuente de energía no se aprovecha aún eficientemente en nuestro país.

La energía contenida en la materia orgánica contaminante que utilizan los microorganismos, medida como demanda química de oxígeno (DQO) o como

demanda bioquímica de oxígeno (DBQ), se transforma en diversos productos dependiendo del metabolismo aerobio o anaerobio de la célula.

Una bacteria anaerobia utiliza el 10% de la energía contenida en su alimento o sustrato para funciones de reproducción dando origen a nuevas células mientras que el 90% restante lo dirige a la producción de gas metano.

Las implicaciones ingenieriles son muy importantes. Por un lado la vía anaerobia produce pocos lodos (células) y por el otro la energía contenida en el gas metano puede transformarse a energía calorífica o de cualquier otro tipo según sean las necesidades.

La capacidad energética de un reactor de este tipo es muy atractiva y puede evaluarse considerando que por cada Kg de DQO eliminado, se producen de 0.2 a 0.3 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> (metano) a TPN (temperatura y presión normal), siendo el poder calorífico del metano: 8.850 kcal/m<sup>3</sup> o 35.135 BTU / m<sup>3</sup>.

Comparativamente, el gas propano y el butano tienen un poder calorífico de 22.441 y 29.017 kcal / m<sup>3</sup> respectivamente, pero su obtención es mucho más costosa, además que es un producto no renovable.

Por todo esto, los reactores anaerobios cobran mas importancia día a día y se están volviendo parte del proceso normal dentro del manejo del agua, tanto potable como residual. Es por ello que la tecnología en varias disciplinas, incluyendo la electrónica, apoya el mejoramiento y estudio de nuevos reactores y procesos similares.

## CAPITULO III

# DESCRIPCIÓN DE LOS REACTORES PILOTO ENFOCADOS A LA INVESTIGACIÓN

Un reactor piloto es un equipo que reúne todas y cada una de las características de un reactor real exceptuando dos de ellas: el tamaño o escala y el hecho de tener sus variables controladas casi totalmente.

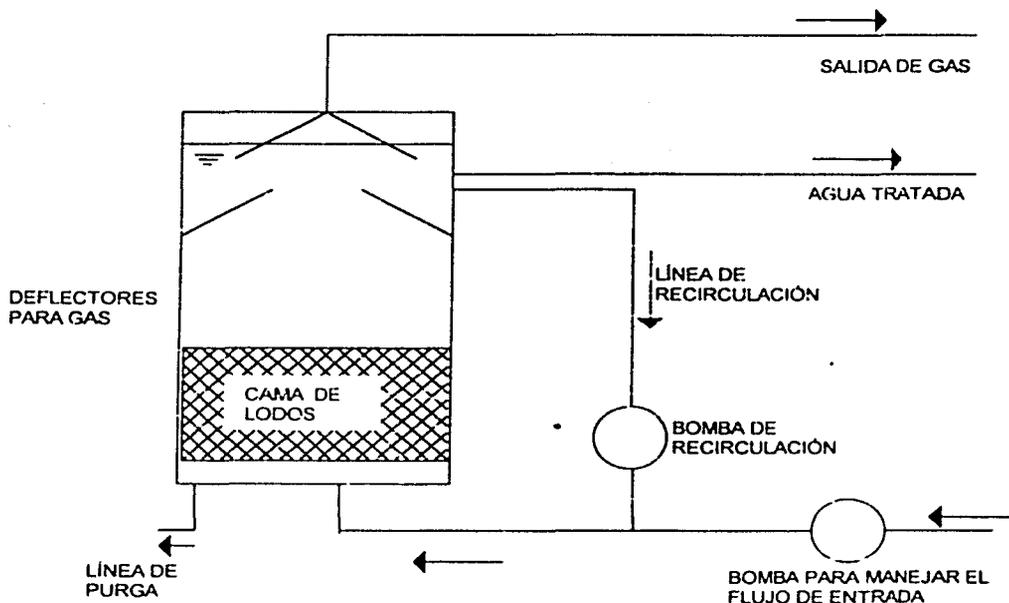
Esto permite a los investigadores conocer con mayor profundidad cada uno de los parámetros y comportamiento del sistema, ya que, debido a su tamaño, puede tenerse ubicado en un laboratorio incrementando considerablemente la velocidad y eficiencia de la investigación.

Por su parte, tener control individual sobre cada una de las variables que integran al sistema, da la facilidad de modificarlas, una por una, a modo de conocer certeramente el comportamiento del reactor consecuentemente a cada una de ellas (relación causa efecto).

Los reactores anaerobios empleados en este trabajo, son modelos de aproximadamente cuatro litros de capacidad, moldeados en resina con fibra de vidrio y cuentan con un soporte metálico hecho de acero, en su interior existe un agitador con velocidad controlada, un sistema de bombeo para recirculación y otro para determinar el flujo de entrada, además de contar con una serie de instrumentos de medición adicionales que permiten en línea, conocer su estado de funcionamiento.

La operación de estos reactores piloto exige de atención constante por parte del operador, además de requerir de temperatura controlada, que según el proceso que se trate, se busca tener 35 ó 70°C en la mayoría de los casos, aunque algunas veces se emplea otra temperatura dentro de este intervalo

En el dibujo de la figura 1, se aprecia un corte de un reactor UASB, en el cual se pueden definir algunas de sus partes como la línea de entrada de agua, la de salida, la de recirculación, la campana atrapa gas con su correspondiente línea de salida, la línea de purga, las bombas.



**FIGURA 1. REACTOR ANAEROBIO UASB SIMPLIFICADO.**

*Se representa un reactor anaerobio y sus elementos principales. Se aprecia que la entrada de agua residual es por la parte inferior del reactor. En la parte superior se encuentra la salida para descarga de agua tratada y la línea de recirculación, así el flujo es forzado a atravesar la cama de lodos. En el extremo superior existe otra salida para conducir los gases generados en el proceso.*

Esencialmente, la parte a la que debemos dirigir la atención en este trabajo es hacia el desarrollo de una cámara que permita lograr las condiciones adecuadas de seguridad y operación de dichos reactores, con capacidad para cuatro

unidades independientes con sus respectivos accesorios, así como brindar las facilidades al operador para instalar los instrumentos de medición correspondientes y permitir un adecuado mantenimiento del mismo.

Los requerimientos y detalles para el diseño, así como las especificaciones básicas del sistema se describen en los próximos capítulos.

## CAPITULO IV

# LA CÁMARA DE AMBIENTACIÓN

Si bien, la descripción actual se ha referido básicamente a los reactores anaerobios piloto y son en sí, la esencia de esta línea de investigación a la cual nos hemos incorporado, la cámara de ambientación juega un papel fundamental en el apoyo a dichas investigaciones, ya que de ella depende en buena medida, la facilidad con la que podemos aspirar al nivel de calidad requerido por la Universidad.

El planteamiento de esta herramienta como apoyo en la investigación, se ha cuestionado en muchos de sus aspectos, inclusive en la necesidad de su existencia como tal. Es decir, la solución al problema no es única, por lo que analizamos este aspecto a continuación.

### 4.1. PREMISAS Y CONCEPTOS ACTUALES QUE JUSTIFICAN SU EXISTENCIA.

El grupo de procesos anaerobios del Instituto de Ingeniería de la UNAM, ha venido realizando trabajos de investigación desde hace más de catorce años, el cual ha cristalizado con la transferencia de varias tecnologías a empresas consultoras en ingeniería ambiental. Durante este periodo se ha obtenido una gran cantidad de experiencia en diversos aspectos relacionados. En este mismo periodo, se ha trabajado de varias maneras, pero ha sido preferido, dentro del laboratorio, el uso de una habitación con temperatura controlada aproximadamente a 35 °C, en cuyo interior se realizan los cultivos bacteriológicos de diversos tipos incluyendo el de los reactores anaerobios. En ocasiones, estos cultivos son llevados en forma individual a temperaturas que pueden alcanzar los 70 °C.

Debido a que la experimentación que se realiza evalúa consumos energéticos y actividad metabólica de las bacterias, es extraordinariamente importante mantener la estabilidad térmica, ya que de ella dependen todos los parámetros medidos, inclusive la velocidad de reproducción de la colonia. A su vez, de la cantidad de población depende la evaluación, de la mayoría de los parámetros restantes.

En el campo real de trabajo, los equipos eventualmente fallan, aún con un adecuado programa de mantenimiento y con una buena selección de la calidad de los instrumentos, la realidad es que fallan. Cada vez que esto sucede, se interrumpe parcial o totalmente un proceso de investigación de varios meses y no siempre es posible continuarlo adecuadamente.

A la fecha, este es uno de los puntos de mayor peso para utilizar el Cuarto Caliente, ya que en caso de falla de alguno de los calentadores la temperatura del sistema, aunque no es la ideal, se mantiene superior a la ambiente y constante, y por otro lado, si la falla se presenta en el controlador del Cuarto Caliente, la temperatura se mantiene, al menos parcialmente, por los calentadores individuales.

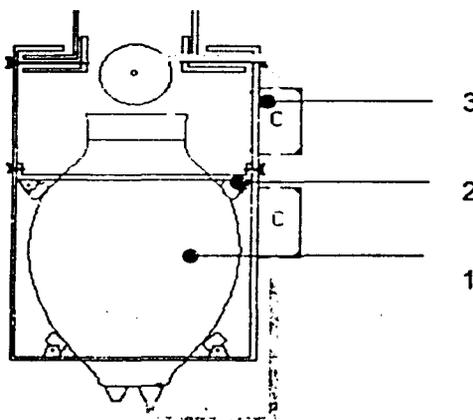
Este no es el único motivo, la distribución de temperatura en un reactor con todos sus accesorios no es homogénea, esto obedece a que la unidad de calefacción se encuentra externa al reactor y se mantiene una permanente circulación del líquido, sin embargo, en dicho circuito hidráulico, la salida del calentador en la parte más caliente y pierde temperatura hasta llegar a la entrada del calentador. Esta diferencia térmica se enfatiza si la temperatura del medio ambiente disminuye.

Además, empleando esta técnica los elementos mecánicos como los motores y reductores de velocidad empleados en las bombas peristálticas, agitadores y ventiladores, no se calientan excesivamente, alargando su vida útil.

Por ello, en búsqueda de confiabilidad de operación se ha mantenido el uso de este método por mucho tiempo. Actualmente, la continua modernización de los laboratorios, respondiendo a nuevas y más exigentes técnicas de investigación, se proponen cambios y actualizaciones de algunos métodos usados, particularmente, el grupo de investigadores del área, ha concluido sustituir el Cuarto Caliente actual cuyas dimensiones son 3.42m de largo, por 2.40m de ancho y 2.35m de alto, por una unidad pequeña tipo closet que sea más eficiente en consumo de energía y en aprovechamiento de espacio, para ayudar a mejorar las condiciones actuales del laboratorio.

## 4.2 ALTERNATIVAS EN EL PROCESO.

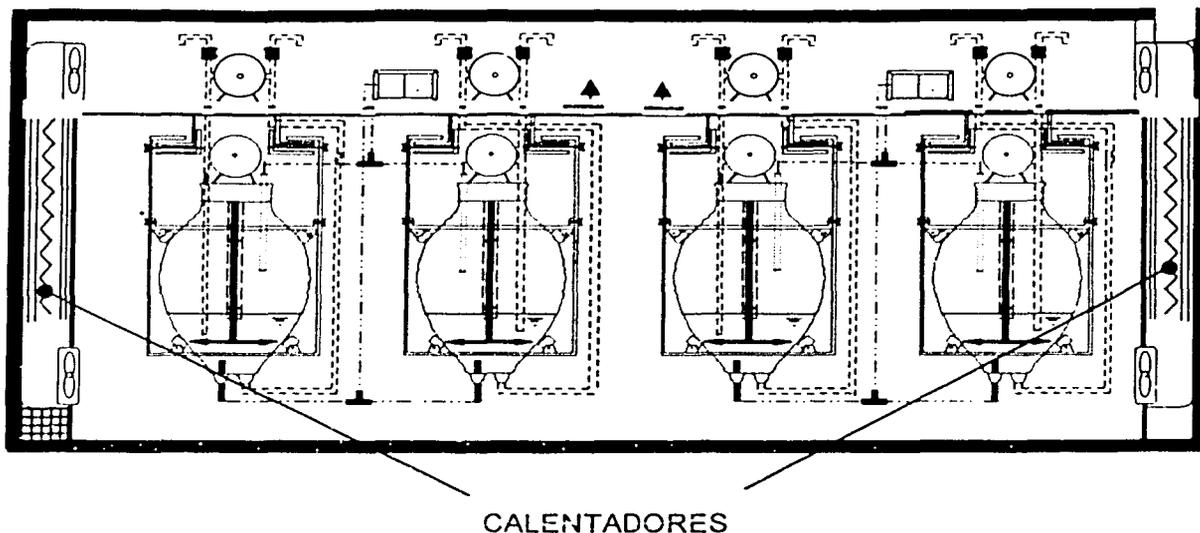
Si bien, el camino que se ha seleccionado cumple perfectamente con los requerimientos actuales, no es la única alternativa de solución. Pueden manejarse otros esquemas igualmente confiables, como la utilización de sistemas dobles de calentadores en cada reactor a modo de que uno sólo, cualquiera de ellos, sea suficiente para estabilizar adecuadamente la temperatura, en caso de falla del calentador complemento.



**FIGURA 2. PRIMERA ALTERNATIVA, DOS CALENTADORES PARA CADA REACTOR UASB.**

*En este dibujo se muestra el reactor (1). La estructura metálica de soporte (2), y las dos unidades de calefacción en la línea de retroalimentación (3).*

Otra alternativa, es usar el calentador de la cámara de ambientación directamente a la temperatura de servicio del reactor y utilizar doble sistema térmico en la Cámara. Esto, reduce la cantidad de calentadores y simplifica la instalación y servicio de los reactores, pero limita a una sola temperatura para todos los reactores, además de que son temperaturas que pueden resultar incómodas para el operador del sistema cada vez que requiera manipular el interior a 70 °C.



**FIGURA 3. SEGUNDA ALTERNATIVA ,UNA CÁMARA CON 4 REACTORES UASB SIN CALENTADOR INDIVIDUAL.**

*En este dibujo se observa a los cuatro reactores dentro de la cámara de ambientación, apreciando las unidades de calefacción para el circuito de aire de la cámara, el interior del reactor no utiliza ningún otro calentador.*

La Cámara de Ambientación tal como ha sido proyectada, permite alcanzar dichas temperaturas, a modo de explorar esta última opción mencionada una vez que esté instalada, pero como ya se mencionó, la idea es usarla a temperaturas menores.

### 4.3 DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO FUNDAMENTALES.

La idea fundamental en este punto, es aclarar en alguna medida la ruta y contenido del proceso que estamos siguiendo para llegar hasta un equipo terminado que cumpla con los requerimientos planteados.

Cabe mencionar que la manera de plantear un diseño puede llegar a ser muy variada, sin embargo, existen lineamientos que frecuentemente se siguen en ingeniería, debido a que se requiere de un procedimiento un poco más ordenado que en otros tipos de diseños.

Sabemos que en ingeniería, el enfoque de diseño atiende a tres elementos fundamentales, la seguridad, la funcionalidad y la estética. Estos elementos deben seguirse en estricto orden, ya que así lo marca su importancia.

La seguridad obedece a que todos los diseños tienen por meta crear algo que ayude al desempeño humano y no tendría sentido que un diseño dañara o arriesgara al ser humano u otro tipo de vida o elemento de la naturaleza, estaríamos yendo en contrasentido.

Todo diseño que sea realizado debe cumplir un fin, a la calidad con que se cumple este fin le llamamos funcionalidad, esto es un concepto amplio, ya que incluye desde las funciones realizadas por la máquina o elemento desarrollado, hasta buscar una forma amigable de manejo, en otras palabras, requerimos refinar un diseño hasta lograr un equilibrio entre su complejidad y la de manejo combinado con su desempeño.

Por último, el concepto de estética consiste en darle a nuestro diseño que ya es seguro y funcional, un toque de belleza.

Lograr el balance armonioso entre estos tres conceptos, es una tarea interminable que se va perfeccionando día a día en el ejercicio de la profesión y que sin duda, es uno de los grandes retos de los ingenieros.

Sin embargo, hablar de diseño y de su forma de realizarlo, es algo tan amplio, variado y podríamos decir, tan complicado, que no es fácil seguir los lineamientos que no sean los que uno mismo marca. Aunque queda claro que hay algunos puntos que casi siempre se llevan a cabo, como es el ejercicio de la disciplina, en donde se marcan varias etapas: la primera de abstracción, es decir, a partir de una necesidad se extrae una síntesis de los puntos relevantes, posteriormente son analizados uno a uno, cuidadosamente para llegar a proponer una serie de ideas, en desorden, sin importar su relevancia, ni realismo, en esta que es la segunda etapa, la ingeniería y el arte, viajan muy cerca y tienen fronteras muy sutiles.

La tercera etapa, podríamos decir que es acomodar las ideas por elementos comunes, tal vez empleando arreglos matriciales u otro método adecuado. En adelante, pretenderíamos llegar a una selección de cada una de las ideas que reúnan los mejores requisitos, ya sea de calidad, de rentabilidad, practicidad o cualquier otro aspecto que queremos resaltar. Posteriormente, teniendo ya una selección de ideas, se requiere plantear el o los procedimientos de desarrollo, asociándolos a recursos humanos, materiales y de tiempo, buscando optimizarlos, llegando como conclusión a una ruta crítica. Estas líneas en las que basamos la selección de ideas y evaluación de recursos, son las directrices del diseño y debemos tenerlas perfectamente claras para lograr que sea equilibrado y coherente.

Es importante resaltar que aunque existen métodos ingenieriles para optimizar una ruta crítica, en esta etapa y en adelante, el procedimiento se individualiza y cada quien tiene su propio estilo, al menos así lo han marcado los grandes diseñadores de la historia.

Aplicando estos conceptos, hemos dividido el proyecto en algunos objetivos precisos, por una parte revisamos el aspecto mecánico, en otro punto, los aspectos asociados con la seguridad y el análisis de los conceptos electrónicos están enfocados a dos puntos, la evaluación de la concentración de biogás y la estabilización de temperatura de la cámara.

#### **4.4 DELIMITACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO.**

Fundamentalmente, buscamos que la cámara de ambientación permita una temperatura interior constante, superior al medio ambiente, es decir, el interior debe calentarse siempre, pero no requiere refrigerarse.

La temperatura requerida en el interior es de  $35 \pm 3$  °C, sin embargo, en forma eventual podría requerirse que llegara a 70 °C, en caso de no usar calentadores adicionales en cada reactor, esta opción se contempla sólo para probarla, ya que se ha determinado por los investigadores del área ambiental que el sistema se maneje con calentadores individuales.

Básicamente esto es por confiabilidad, por seguridad contra incendio, duración de algunos elementos, así como facilidad de manejo, ya que manipular elementos a 70 °C con las manos, requiere de equipo de protección.

Otro aspecto importante que define nuestro diseño, es la resistencia de los materiales empleados contra las condiciones de uso, es decir, químicamente resistentes al metano, bióxido de carbono, ácido sulfhídrico y elementos de limpieza como algunos detergentes y solventes (éstos se especifican en el capítulo 9.4 de este trabajo), buscando la compatibilidad entre los materiales y los métodos de limpieza.

## CAPITULO V

# DISEÑO DEL CONTENEDOR

Si bien, la cámara de ambientación tiene una sección importante de electrónica, el diseño del contenedor no es menos significativo, ya que se encuentran íntimamente ligados en un desempeño común.

En el desarrollo de este diseño, encontramos una serie de puntos interesantes que nos enfocaron al resultado obtenido.

El contenedor es la parte de este trabajo que sirve como soporte mecánico para todo el conjunto y además, cumple algunas otras funciones.

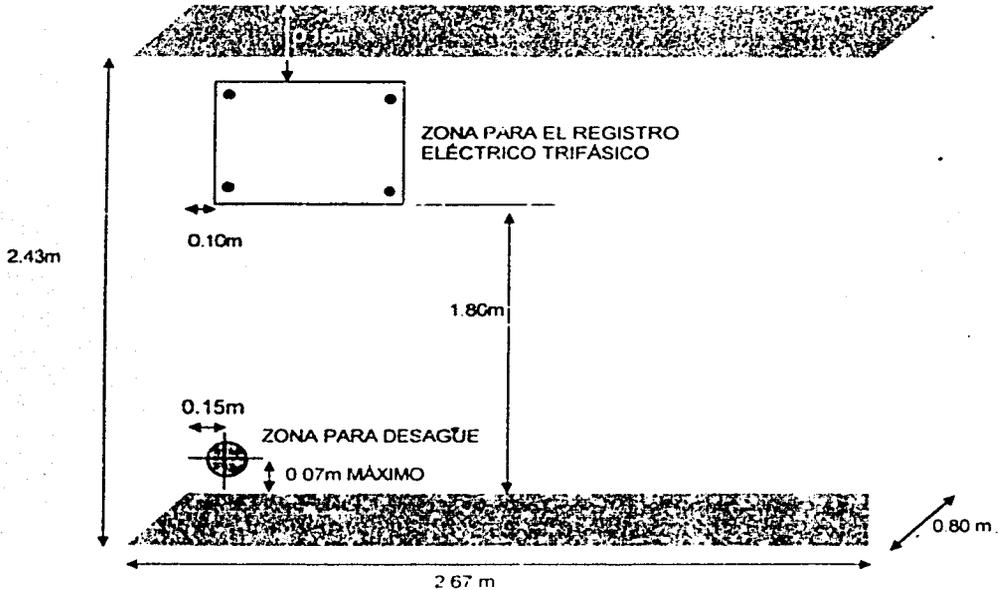
Se busca que el contenedor permita guardar en su interior cuatro reactores con todo su equipo auxiliar de operación, mantenerlos a temperatura controlada mayor que la ambiente, con una buena estabilidad y homogeneidad. En relación con el usuario, el contenedor debe tener facilidad de instalación para los reactores y su equipo, así mismo permitir las tareas de mantenimiento, tanto para revisar parámetros funcionales como flujo, temperatura, pH, o simplemente extraer muestras de lodo, o en su caso, hacer la sustitución completa del lodo.

Por otra parte, existe eventualmente la posibilidad de algún mal funcionamiento en los reactores o en su equipo auxiliar que genere algún derrame de líquido o gas por falla en elementos como coples, mangueras o error humano, entre otros. Por lo que se busca un diseño de fácil limpieza, que no permita el desarrollo de bacterias, hongos, algas, etc. y que reduzca el riesgo de incendio dentro de lo posible.

En el siguiente punto describimos las dimensiones básicas y requerimientos de espacio y servicios.

## 5.1 DIMENSIONES EXTERNAS

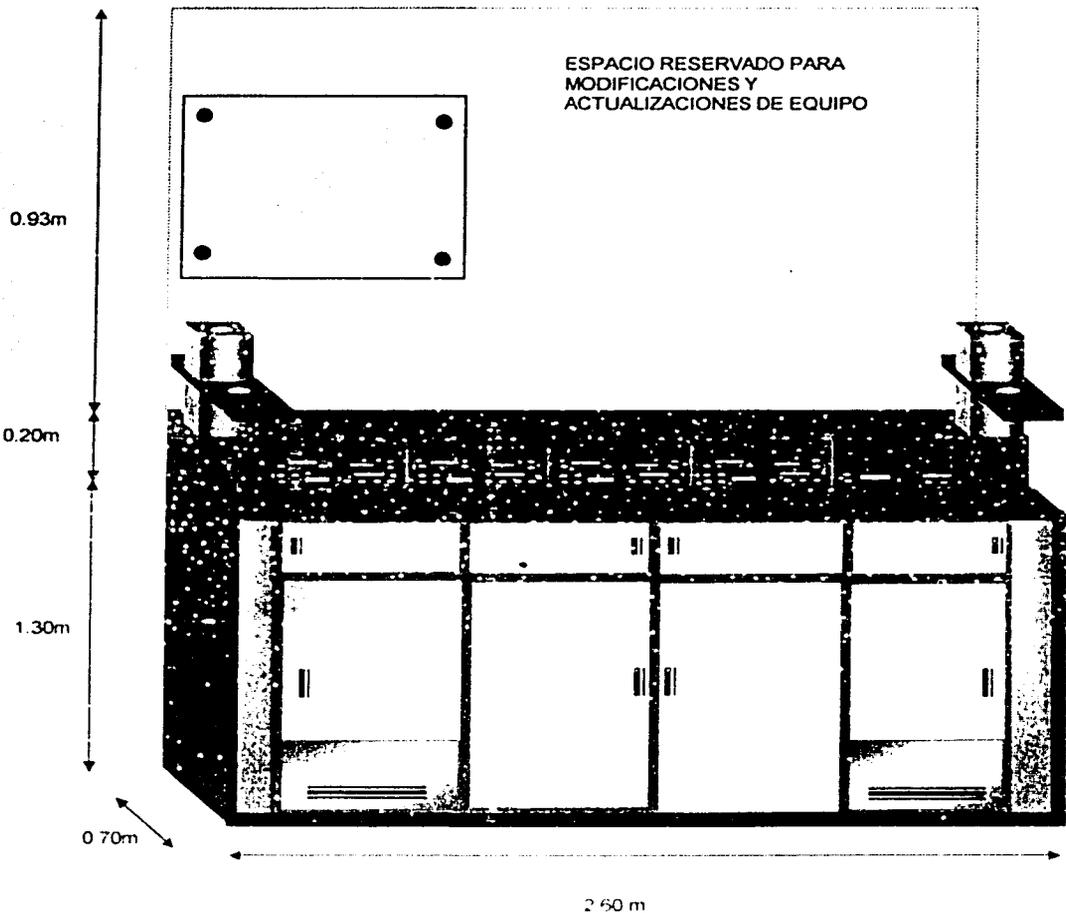
En la figura 4 se define el espacio disponible para ubicar el equipo. El espacio visto de frente, en sentido horizontal mide 2.67, 0.80 de fondo y verticalmente 2.43 metros.



**FIGURA 4. ESPACIO ASIGNADO PARA LA INSTALACIÓN DE LA CÁMARA DE AMBIENTACIÓN**

Del espacio mencionado, se pretende usar un área de 2.60 de ancho por 0.70 m de fondo visto en planta, y de altura aproximadamente 1.30 m en la parte cerrada (zona precalentada), la electrónica se encuentra en un área abierta a temperatura ambiente, en la parte superior en un espacio de 20 cm de alto por todo el ancho del equipo. El resto hasta la altura del techo, está disponible para tableros y demás instrumentos en caso de ser requeridos. De tal forma que su ocupación se aprecia en la figura 5.

Por su parte, los servicios que requiere el equipo son una toma eléctrica trifásica ubicada en un tablero de potencia en la parte alta izquierda del muro de instalación, así como un desagüe en la parte inferior izquierda como se aprecia en la figura 4.



**FIGURA 5. DIMENSIONES EXTERNAS CONTEMPLADAS PARA LA CÁMARA DE AMBIENTACIÓN.**

## 5.2 ALTERNATIVAS FUNDAMENTALES PARA LA SOLUCIÓN DE FORMAS Y SU ANÁLISIS.

Con la finalidad de mantener un análisis objetivo y equilibrado de nuestro diseño, planteamos varias alternativas viables de distribución interna y externa, en ellas se pretende cubrir los objetivos, para posteriormente concluir en un diseño definitivo.

Por lo anterior hemos concluido algunos puntos relevantes:

- La estructura y acabados son en acero inoxidable
- Las uniones de las piezas siempre que sea posible, son soldadas y pulidas.
- Todas las esquinas interiores son redondeadas para evitar que se acumulen residuos orgánicos.
- Las puertas pueden ser de acero o vidrio.
- Las puertas son de tipo abatible (con bisagra) o deslizables.
- Las paredes incluyen un recubrimiento de 3.8 cm de fibra de vidrio como aislante térmico.
- Los accesorios del reactor que requieren estar a la misma temperatura, se instalan en la parte superior en un compartimiento auxiliar comunicado, pero con puertas separadas, para reducir el transitorio de aire frío que entra al abrirlas.
- Los accesorios que requieren operar a temperatura ambiente, se ubican externamente, como es el caso de los dispositivos electrónicos asociados, tomas de potencia, etc.
- Los reactores se soportan colgados de la parte superior de su compartimiento.
- Se instalan charolas de acero inoxidable en la parte inferior del contenedor para facilitar la limpieza y proteger contra escurrimientos.
- Se instalan calentadores y ventiladores de aire en lugares que no estorben al usuario y/o que se arriesgue la durabilidad del elemento.
- Se evitan contactos y elementos eléctricos en la parte inferior, porque podrían ser susceptibles a mojarse.
- Todos los elementos eléctricos usados en el interior son de tipo "no chispa".
- Se contemplan protecciones para no sobrepasar temperaturas seguras.
- Se considera una línea de extracción de aire controlada.

Tomando en cuenta todos estos puntos, la definición del diseño aunque no está concluida, se vuelve más clara.

Por último, considerando su función, el espacio disponible lo dividimos en tres secciones, una que se encuentra en la parte superior a temperatura ambiente,

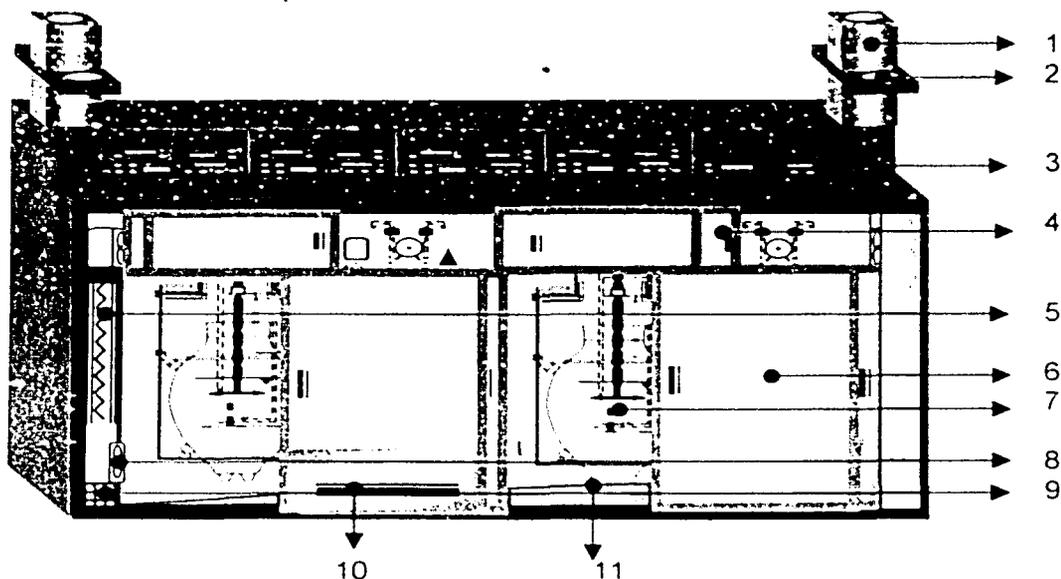
destinada para recibir a la electrónica y otras dos en la parte media e inferior, respectivamente, ambas calentadas artificialmente a la temperatura de servicio. Como se observa en la figura 5 la idea de independizar estas zonas es que en la intermedia se alojen las bombas, sus motores, puertos de acceso hidráulicos, mientras que en la inferior, los digestores anaerobios, calentadores y sensores correspondientes.

Con la finalidad de mantener un diseño limpio y ordenado, dividimos la parte superior en cinco secciones, cada una de las cuales contiene un juego o kit electrónico completo.

Los cuatro primeros, son iguales y representan los instrumentos necesarios para cada uno de los reactores, mientras que el último contiene los mandos e indicadores de la cámara de ambientación.

Las líneas eléctricas de comunicación entre estas unidades, pasan a través de guías entre las paredes de la misma cámara. De este modo, garantizamos un alojamiento seguro para los cables y cómodo para el instalador.

Esta arquitectura, permite variar cada uno de los parámetros de los digestores en forma individual, incluyendo la temperatura, ya que el digestor opera a una temperatura mayor que la de la cámara. Estos detalles pueden ser apreciados en la figura 6.



## FIGURA 6. DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE AMBIENTACIÓN.

*En éste diagrama se muestran las partes de la cámara, (1) salida de aire hacia el extractor, (2) guillotina manual para ajustar el flujo de aire requerido, (3) panel de control electrónico, (4) puerta superior para la toma de muestras, (5) calentadores de 800 [W], (6) puertas inferiores de acceso a los reactores, (7) reactores anaerobios, (8) ventiladores que ayudan a mantener constante la temperatura, (9) malla metálica para detener sólidos, (10) entradas de aire, (11) charola para escurrimientos.*

Por otra parte, las conexiones externas para la extracción de aire (succión), se encuentra ubicada en ambos extremos en la parte superior de la unidad, permitiendo el funcionamiento simultaneo o independiente seleccionando cualquiera de ellas, esto permite mayor versatilidad en la instalación.

La recirculación interna de aire se realiza mediante cuatro ventiladores cuyo flujo se fuerza a pasar por los calefactores con la finalidad de mejorar la estabilidad térmica.

Consideramos que las puertas pueden ser de varias maneras, en relación con su material. Tanto el acero, como el vidrio ofrecen buenas posibilidades.

Mientras que en cuanto a la forma y posición, pueden montarse con bisagras o deslizables. Estas últimas, permiten el acceso con menos turbulencia por lo que provocan menor cambio de temperatura al abrirlas y cerrarlas, pero requieren de un riel guía, que puede ser una de las partes que acumulen suciedad.

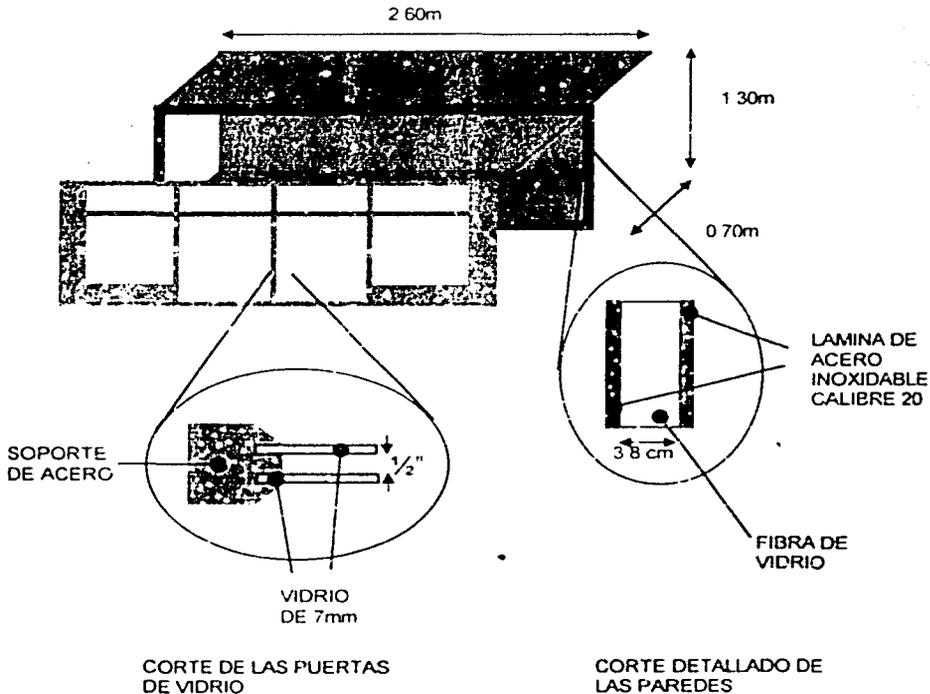
### 5.3 DISEÑO DEFINITIVO

Después de revisar y comparar cada uno de los puntos que integran al contenedor y su relación con el resultado y comportamiento del sistema, concluimos que una de las maneras de resolver el diseño, es la siguiente.

Se resolvió la estructura interna mediante diferentes tipos de perfiles, básicamente ángulo, solera y canal y se buscó uniformizar las medidas. El espesor de las piezas es de 1/8", con 1" por lado para las dos primeras, mientras que la última es de 1" x 2".

Por su parte, el acabado del interior y exterior está hecho con lámina de acero inoxidable calibre 20. Las paredes están rellenas en su interior por una capa de aislante térmico de fibra de vidrio de 3.8 cm, lo que permite reducir las pérdidas térmicas fuertemente, y miden 2.60m de ancho, por 0.70m de fondo y 1.30m de alto.

Las puertas son de vidrio templado doble de 7 mm de espesor cada uno, separados media pulgada entre sí. En la figura 7 contemplamos un aspecto de los aislantes térmicos y su ensamble.



**FIGURA 7. DETALLE DE ENSAMBLE DE PAREDES Y PUERTAS.**

*En éste dibujo se muestra el ensamble de las paredes y puertas de la cámara de ambientación, resaltando la existencia de doble pared para reducir las pérdidas térmicas. El interior de las paredes se encuentra ocupado por fibra de vidrio, mientras que el interior de las puertas contiene aire, para mantener la transparencia visual.*

El valor de la energía térmica disipada a través de las paredes del contenedor, es el elemento primordial para determinar la magnitud de los calefactores empleados. Para determinar esta cifra, es necesario conocer el área de las paredes aisladas con fibra de vidrio y el área cubierta por las puertas de vidrio, así como la conductividad térmica de cada una.

De la figura anterior, podemos observar las dimensiones del contenedor en donde se aprecia que cinco de sus seis caras contienen fibra de vidrio y el área total que ellas representan es de:

$$A_{FV} = (1.3) (2 (0.7) + 2.6) + 2 (0.7) (2.6) = 8.84 \text{ m}^2$$

$A_{FV}$  = Área cubierta por fibra de vidrio

A su vez, el área de la sexta cara, ocupada por las puertas de vidrio representa:

$$A_{PV} = (1.3) (2.6) = 3.38 \text{ m}^2$$

$A_{PV}$  = Área de las puertas de vidrio

Una vez determinados estos valores, asociándolos a las constantes de conductibilidad térmica que obtenemos de las especificaciones físicas de los materiales, podemos calcular la transferencia de energía por unidad de tiempo (potencia disipada) a través de dichas paredes.

$$P_d = \left[ \frac{kA\Delta T}{d} \right]_{FV} + \left[ \frac{1}{kA\Delta T} \right]_V + \left[ \frac{1}{kA\Delta T} \right]_A$$

En donde:

$P_d$  = Potencia disipada [mW]

$K$  = Constante de conductibilidad térmica  $\left[ \frac{mW}{cm^\circ C} \right]$

$A$  = Área de la superficie [cm<sup>2</sup>]

$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas [°C]

$d$  = Espesor del material [cm]

Los subíndices representan el material al que se asocia cada bloque de la ecuación, FV (fibra de vidrio), V (vidrio), A (aire), respectivamente.

El primer término representa las pérdidas de energía a través de las paredes recubiertas con fibra de vidrio; mientras que el resto de la ecuación representa las pérdidas a través de la puerta. Esta última, comprende dos materiales, vidrio y aire.

$$P_{it} = \left[ \frac{(0.407)(8.84 \times 10^4)(20)}{3.8} \right]_{FV} + \left[ \frac{1}{(0.52)(3.38 \times 10^4)(20)} \right]_V + \left[ \frac{1}{(0.65)(3.38 \times 10^4)(20)} \right]_A = 335.22 [W]$$

La ecuación anterior fue calculada para un incremento de temperatura de 20°C (considerando T<sub>AMBIENTE</sub> = 20°C y T<sub>INTERIOR</sub> = 40°C).

Las constantes de cada material son:

$$K_{FV} = 0.407 \left[ \frac{mW}{cm^{\circ}C} \right]$$

$$K_V = 0.520 \left[ \frac{mW}{cm^{\circ}C} \right]$$

$$K_A = 0.650 \left[ \frac{mW}{cm^{\circ}C} \right]$$

Estas constantes pueden variar ligeramente según la calidad de los materiales y fabricantes. En el caso del aire, las variaciones obedecen a cambios de temperatura, presión y humedad. El dato mencionado corresponde a la altura de la ciudad de México y 20% de HR.

Las áreas y espesor de los materiales se expresan en cm<sup>2</sup> y cm respectivamente.

Esta cifra de 335.22 [W] representa el total de las pérdidas caloríficas del sistema a la temperatura mencionada.

Al terminar el ensamble, medimos esta cifra buscando tener las mismas temperaturas mencionadas. Esto lo realizamos mediante dos calentadores comerciales de 800 [W] cada uno, los cuales fueron medidos determinando el voltaje y la corriente a través de cada uno, obteniendo una cifra de 780 y 769 [W] respectivamente, sumando un total de 1549 [W].

Posteriormente, incrementamos el interior 20°C sobre la temperatura ambiente (18.9°C), y modificamos el ancho del ciclo de trabajo aproximadamente al 24.4% después de varios días. Finalmente, logramos buena estabilidad en la temperatura. Por lo tanto, la potencia neta medida es el 24.4% de 1549 [W] y esto equivale 378.14 [W].

Esta cifra medida, representa tanto el consumo eléctrico de los calefactores, como la pérdida energética del contenedor. Sin embargo, este valor se incrementa cada vez que el usuario abre las puertas y se intercambia el aire interior con el exterior o se activa el sistema de extracción de aire. El análisis de esta cifra se detalla en el capítulo 6, sección 4 "Consideraciones del equipo de calefacción".

Finalmente, la cámara vista de frente quedó con tres secciones una arriba de otra. La superior abierta, a temperatura ambiente, las otras dos, a temperatura controlada para alojar bombas y digestores respectivamente según se describió, cubiertas por puertas deslizables de vidrio. En ambos lados en los extremos de la cara frontal, en la parte media inferior, se encuentran dos accesos de servicio cubiertos mediante unas tapas atornillables. A través de las cuales se tiene acceso a los calefactores, ventiladores, conexiones eléctricas, drenaje y puntos de apoyo de la estructura principal, estos últimos tienen tornillos para nivelar al equipo.

Los ventiladores están colocados de tal forma que logren una temperatura bastante homogénea, pasando el aire por los sensores de temperatura y de concentración de metano.

Los contactos eléctricos e instrumentos se encuentran fuera de la zona de digestores para evitar deterioro de equipos y accidentes.

La parte inferior cuenta con pendiente para conducir los líquidos hacia el drenaje a través de una malla metálica para atrapar sólidos.

El diseño definitivo se ilustra en el dibujo de la figura 6, ya mencionada.

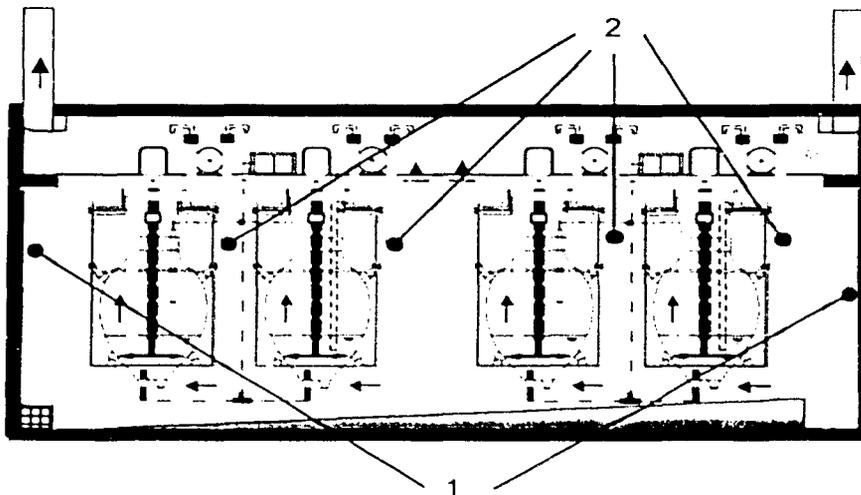
En el siguiente capítulo podemos ver los puntos relacionados con el control de temperatura, sus consideraciones y descripción de los circuitos.

## CAPITULO VI

# CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Este sistema es el encargado de mantener la estabilidad de temperatura dentro de la cámara y está formado por los calefactores eléctricos, la unidad de control y el circuito de ventilación interna básicamente.

En la figura 8 se ilustra el conjunto de ambientación, mostrando un corte de las dos secciones principales de calentamiento: la interna, del digestor anaerobio y la externa que corresponde a la cámara.



## FIGURA 8. ZONAS DE CALENTAMIENTO DE LA CÁMARA DE AMBIENTACIÓN.

*En la este dibujo se muestran los dos tipos de resistencias utilizadas dentro de la cámara, Las empleadas para calentar el aire de la cámara (1), y los cuatro calentadores para agua asociados a cada reactor (2)*

Según hemos mencionado anteriormente, este trabajo está orientado al diseño de la parte externa, es decir, calentar hasta 35°C aproximadamente la atmósfera que envuelve al digester, aunque eventualmente podrían hacerse algunas pruebas a temperaturas mayores, alcanzando 70°C, como se especificó anteriormente.

Los calentadores de los digestores anaerobios, han sido desarrollados anteriormente en otro proyecto. A modo de ubicar al lector, estos calentadores operan bajo el mismo principio, su diseño es similar aunque con algunas pequeñas diferencias.

Una de estas diferencias es el tipo de calefactor, se trata de una resistencia unida a un tubo de 28 cm de longitud y 7.2 mm de diámetro interior, fundido en una sola pieza en aluminio y recubierto con aislamiento térmico de fibra de vidrio, por donde circula el líquido del reactor impulsado por una bomba eléctrica. Se monitorea la temperatura del líquido y se controla el calor disipado en la resistencia.

Se trabaja a temperatura que varía entre 50 y 70 °C, según lo determine el usuario. Este proceso se repite cuatro veces con control independiente, uno para cada digester.

Regresando a nuestro tema, la calefacción de la cámara, requerimos dimensionar los calentadores que se instalen y la lógica que opera sobre ellos. Al momento, podemos decir que si son demasiado pequeños, nunca se alcanzaría la temperatura requerida, ya que las pérdidas térmicas superarían a la ganancia de calor. Por otra parte, si se sobredimensionan exageradamente, se vuelve muy torpe el sistema de control, ya que acumulan inercia térmica rápidamente y aún cuando se desconecten completamente al alcanzar la temperatura programada, continúan calentando al sistema, lo que ocasiona un sobrepaso importante, de varios grados, provocando que el sistema sea impreciso.

Este problema es solucionado fácilmente, si se obtiene la dimensión óptima de los calentadores o si se combina este valor con una adecuada lógica de control. En los siguientes puntos de este capítulo, revisaremos el circuito electrónico, su funcionamiento y haremos un análisis térmico del conjunto (capítulo 6.4), para determinar los calentadores adecuados

## **6.1 DISEÑO FUNDAMENTAL DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO.**

Se pretende que el circuito o más bien, todo el sistema alcance sin problemas la temperatura requerida con una tolerancia igual o menor a la solicitada (ver punto 4.4), además, buscamos un panel de control de fácil manejo y con indicadores claros de la función realizada.

Para no comprometer a la unidad electrónica en relación con la temperatura de operación de los semiconductores y demás componentes, la ubicamos fuera de la zona caliente para que trabaje a temperatura ambiente.

### **6.1.1 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES.**

Sabemos que para lograr que un diseño electrónico sea simple de manejar, sin demeritar la calidad de sus funciones, generalmente se vuelve más grande y complejo. Considerando esto, pretendemos encontrar un equilibrio para no complicar exageradamente el diseño, pero lograr simplicidad de manejo.

Primeramente, la función principal del circuito es mantener estable la temperatura de la cámara. Se busca también, que se pueda apreciar en un display la temperatura actual y la temperatura programada, que el dispositivo de programación no se borre cuando se interrumpe la energía eléctrica como sucede con algunas marcas comerciales. El display debe incluir también, indicadores de encendido de calentadores, flujo de extracción, alarmas, encendido maestro y estado de calentadores.

Otro aspecto importante es lograr un sistema robusto, que sea de operación confiable y permita fluctuaciones del suministro eléctrico, sin causar deterioro en sus funciones.

Se muestra un diagrama de bloques en la figura 9, del proyecto electrónico.

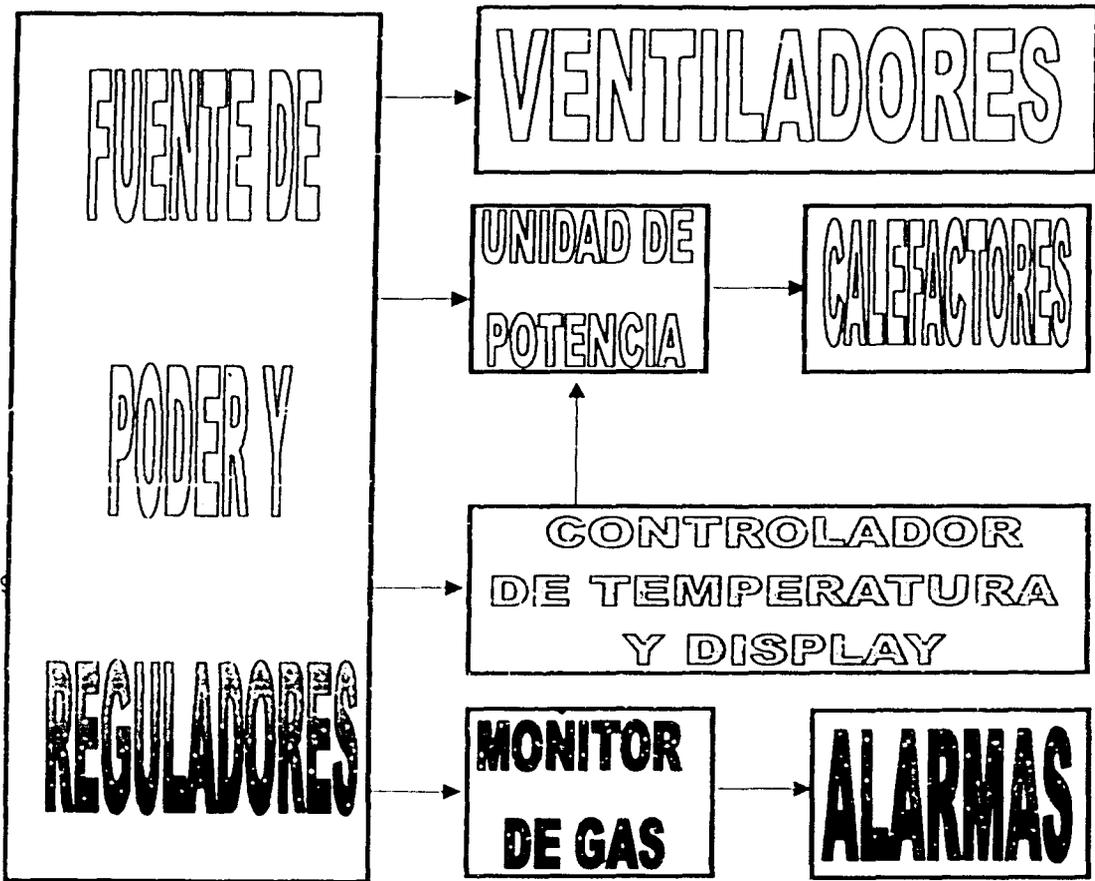


FIGURA 9 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONJUNTO FUENTE, POTENCIA MONITOREO DE GAS Y CONTROL.

En él podemos observar claramente varias secciones, una fuente de poder con una etapa de alta tensión (127 VCA) sin aislamiento de la red, que alimenta a los calentadores, los motoventiladores y a través de un transformador la etapa de baja tensión aislada. Esta última proporciona los voltajes de alimentación para los circuitos de control de temperatura, display, monitoreo de gas y alarmas.

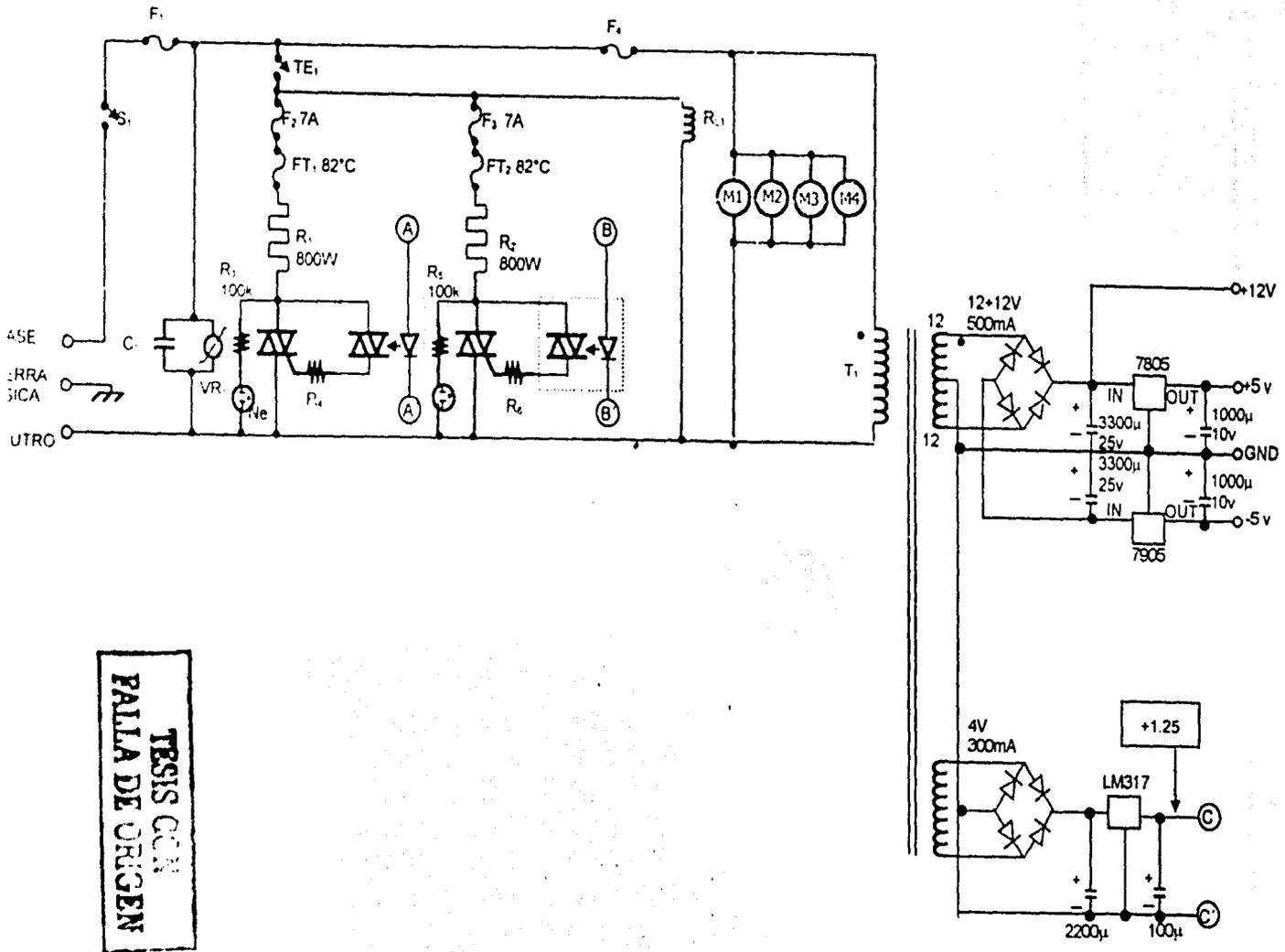
En otra sección del diagrama se aprecian el sensor de temperatura, el acondicionador de señal, el circuito de display a través de un convertidor analógico-digital, la lógica de control formada por comparadores y una base de tiempo básicamente, el circuito de alarma, protección y optoacopladores para manejar a la unidad de potencia.

La fuente de poder energiza también al sistema de monitoreo de gas que se describe en el capítulo ocho.

### **6.1.2 FUENTE DE PODER Y UNIDAD DE POTENCIA.**

El conjunto de potencia y alimentación, se muestra en el siguiente diagrama electrónico de la figura 10.

FIGURA 10. DIAGRAMA ELECTRÓNICO DE LA UNIDAD DE POTENCIA.



TESIS CON  
PALA DE ORIGEN

En el extremo de entrada de la fuente, se ubica el conjunto formado por  $S_1$ ,  $F_1$ ,  $C_1$  y  $VR_1$ . El interruptor  $S_1$  es el mando maestro de encendido / apagado para el sistema, el capacitor  $C_1$  opera como filtro paso bajas en la línea reduciendo las componentes armónicas, esto tiene función bidireccional, por un lado reduce en alguna medida los picos de voltaje de alta frecuencia que vienen en la línea de alimentación para que no entren al equipo. Por otra parte, reduce la contaminación de armónicas que produce este equipo y que envía hacia la línea de alimentación, por efecto de la conmutación rápida en su interior.

El capacitor se encuentra en paralelo con un varistor, éste último limita el voltaje de entrada a un valor seguro, recorta los picos en caso de existir, provocando una corriente en su interior. Si esta corriente se incrementa por encima del valor del fusible  $F_1$  (considerando en el fusible la corriente total  $I$  varistor +  $I$  consumo del circuito), el fusible se abre desconectando al equipo. En ocasiones el varistor también se destruye junto con el fusible, dependiendo de la magnitud del sobrevoltaje y su duración. De este modo obtenemos una buena protección para el resto del sistema.

En adelante existen dos unidades formadas con triacs, alimentadas a través de un termostato de protección que determinan el encendido de los calentadores (se emplea un termostato tipo flip-flop mecánico para mayor seguridad, es decir, si la temperatura alcanza el límite predeterminado, el interruptor abre y se queda abierto aunque la temperatura baje, requiere entonces presionar un botón de reset manualmente para volver a activarlo). Se utiliza doble sistema previendo que se pueda dar mantenimiento a cada calefactor en forma individual sin desactivar al conjunto.

Además, se tiene la experiencia de que los calentadores en el sistema anterior al descrito, suelen fundirse con cierta regularidad, generando problemas al usuario, sobretodo por lo inesperado del tiempo de mantenimiento. Se busca también que la potencia de cada calentador sea suficiente para calentar al conjunto en caso de falla del complemento. Esto se analiza adelante cuando se determine la potencia de los calentadores, sin embargo, al momento podemos adelantar que son dos de 800 watts cada uno, a modo de poder dimensionar la unidad de potencia.

Cada uno de estos triacs, está en serie con su calefactor, un fusible de 7 A, otro fusible térmico de 82 °C y es disparado por el circuito formado con otro triac optoacoplado en serie con una resistencia.

En paralelo con cada triac, existe un circuito formado por un foco de neón y una resistencia de 100 k. Cuando el triac está apagado, el foco enciende, comprobando el buen estado del calefactor correspondiente. Así, en operación normal el foco está encendiendo intermitentemente alternándose con el calefactor y en caso de un calefactor o fusible de esa malla fundido, el circuito queda abierto y el foco apagado permanentemente. Este circuito, es el monitor del estado de los calentadores.

Los cuatro motores de ventilación, suman un consumo total de 3.6 A, que se incrementa en el arranque hasta 9 A aproximadamente. El circuito está permanentemente conectado a modo de homogeneizar la temperatura interior aún con calentadores desactivados.

Se agregó un relevador RL<sub>1</sub>, cuyos contactos energizan las tomas eléctricas auxiliares, utilizadas para conectar todos los equipos eléctricos y electrónicos relacionados con el sistema (se dimensionó para dos circuitos adicionales con capacidad de 25 A a 127 V cada uno, aunque se estima un consumo máximo de 2000 watts en total).

La bobina del relevador se activa cuando el termostato de seguridad está cerrado, de este modo, podemos desconectar todos los equipos relacionados en caso de un funcionamiento no adecuado.

Por último, la línea de alimentación es aplicada también a un transformador para proveer los voltajes de baja tensión aislados. El transformador T1 tiene dos secundarios uno de 4 y otro de 24 VCA con tap central (12 + 12). El primero junto con el segundo, alimenta al sensor de gas, mientras que el segundo provee una línea de +12V (no regulada) y otras de +/-5 V (reguladas), para abastecer a todos los circuitos, a través de sus correspondientes circuitos.

### **6.1.3 CIRCUITO DE MONITOREO Y CONTROL DE TEMPERATURA.**

Esta unidad es la responsable de mantener estable la temperatura en el valor programado, así como de indicar la temperatura en un display digital.

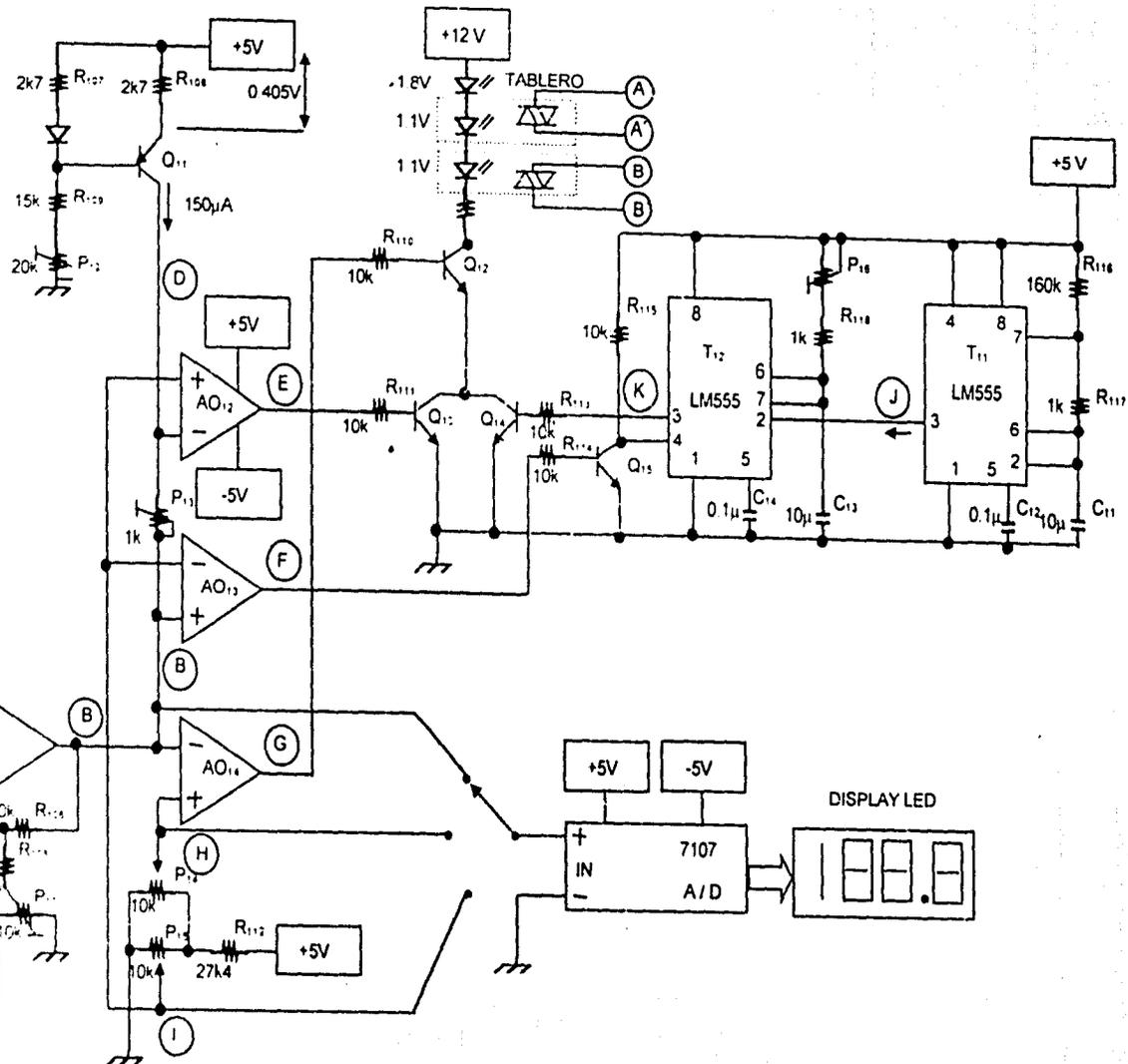
El conjunto está formado por un sensor de temperatura, un acondicionador de señal, la unidad de control que opera mediante aproximación, es decir, activa toda la potencia en calefactores si la temperatura está muy distante al punto programado, la reduce si está cerca de él y lo desconecta al alcanzarlo. Existe además, un control independiente que se programa como temperatura máxima permitida, así se puede predeterminar un límite seguro al proceso, esto se incorporó porque con los equipos que anteriormente se han usado, algunas de las personas que lo ajustan, han llegado a dejar temperaturas demasiado altas para los cultivos, lesionando la salud de las bacterias

Este fenómeno se ha presentado básicamente por error humano, debido a que la velocidad de incremento de temperatura en ocasiones es baja y puede confundir al operador, sobretodo cuando es novato, haciéndolo creer que la temperatura en un instante ya es definitiva, siendo que termina de estabilizarse en uno o dos días más.

De este modo el investigador responsable, calibra este control conociendo las características de sus bacterias, dentro de valores seguros y los ayudantes ajustan posteriormente el control de temperatura sin arriesgar a los cultivos. Para ubicar los detalles de funcionamiento referirse al figura 11.

FIGURA 11. DIAGRAMA DE LA UNIDAD DE CONTROL.

TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN



El sensor de temperatura es un LM 335, circuito integrado en encapsulado TO-92 que consiste en un sensor lineal con salida de 10 mV/K. Este sensor presenta excelentes propiedades en su desempeño y su aplicación es sumamente sencilla.

La resistencia  $R_{101}$  polariza al sensor. Mientras que las resistencias  $R_{102}$  a  $R_{106}$  junto con el amplificador operacional  $AO_{11}$ , invierten la señal, incorporan una corrección en el voltaje de offset para convertir la señal a  $^{\circ}\text{C}$  (retira 2.73 V aproximadamente), así se obtiene 0 V a 0  $^{\circ}\text{C}$  y una pendiente positiva de 10 mV/ $^{\circ}\text{C}$  (punto B vs. tierra).

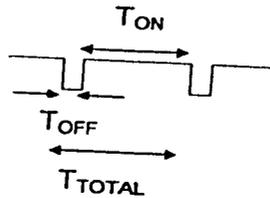
Esta señal es aplicada a tres comparadores de voltaje, directamente a dos de ellos y a través de una resistencia ( $P_{13}$ ) al tercero. El  $AO_{14}$  determina el valor máximo permitido y se calibra con el potenciómetro  $P_{14}$ . Los comparadores  $AO_{12}$  y  $AO_{13}$  se encargan del control fino de la temperatura y funcionan de la siguiente manera:

El potenciómetro  $P_{15}$  determina una tensión de referencia (punto I) que se aplica en ambos comparadores. Por su parte, la entrada negativa de cada uno están separadas pero asociadas, es decir, la entrada del  $AO_{12}$  (punto D) siempre tiene más voltaje que el punto B (entrada de  $AO_{13}$ ), este voltaje es constante y está determinado por el circuito del transistor  $Q_{11}$  que opera como fuente de corriente de 150 microampers y por el potenciómetro  $P_{13}$ . Sabemos que al pasar una corriente constante en una resistencia se produce una caída de tensión también constante, de este modo el punto D es esclavo del punto B y la distancia entre ellos se calibra en el potenciómetro preajustable  $P_{13}$  y permite un intervalo aproximado de 0 a 15  $^{\circ}\text{C}$  (0 a 150 mV).

Como el  $AO_{12}$  se excita con una mayor tensión que el  $AO_{13}$ , reacciona a temperatura más fría, de este modo es el encargado de la conexión de calefactores a toda potencia. Mientras que el  $AO_{13}$  va a manejar la aproximación final de temperatura mediante potencia reducida. Esta limitación de potencia se obtiene mediante un circuito dosificador formado por los dos timers  $T_{11}$  y  $T_{12}$ , implementados por LM 555.

El circuito  $T_{11}$  funciona como base de tiempo constante con un periodo cercano a 1 segundo en el punto J (ver figuras 6.4 y 6.5) Esta señal se aplica a la entrada de  $T_{12}$  configurado como monoestable, el cual se calibra en el potenciómetro  $P_{16}$ , obteniendo en K una onda cuadrada con ciclo de trabajo que va desde el 1% hasta el 99% en cifras redondas. Este porcentaje determina el valor efectivo de la potencia de calefacción cuando opere en este intervalo de temperatura

FIGURA 12. DIAGRAMA DE TIEMPOS DEL CIRCUITO DE RELOJ.



$$T_{OFF} = 0.693 (R_{17})(C_1)$$

$$T_{OFF} = 0.693 (1k) (10\mu)$$

$$T_{OFF} = 6.93 \text{ mseg.}$$

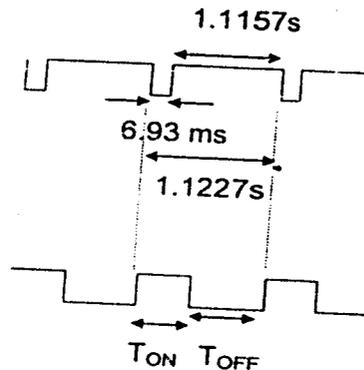
$$T_{ON} = 0.693 (R_{17}+R_{16}) (C_1)$$

$$T_{ON} = 0.693 (160k + 1k) (10\mu)$$

$$T_{ON} = 1.1157 \text{ seg}$$

$$T_{TOTAL} = 1.1157 + 0.00693$$

$$T_{TOTAL} = 1.1227 \text{ seg.}$$



Base de tiempo  
(punto J)

Ancho de pulso  
del sistema  
(punto k)

El  $T_{ON}$  se ajusta con  $P_{16}$  y vale  $T_{ON} = 1.1 RC$   
El límite de valores para  $T_{ON}$  es

$T_{ON}$  { Mínimo  
Máximo

$$T_{ON \text{ MIN}} = 1.1 (1k) (10\mu)$$

$$T_{ON \text{ MIN}} = 0.011 \text{ seg.}$$

$$T_{ON \text{ MAX}} = 1.1 (101k) (10\mu)$$

$$T_{ON \text{ MAX}} = 1.111 \text{ seg}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Lo que equivale en porcentaje de ciclo de 0.98 hasta el 98.96%. respectivamente

Por su parte, la lógica del circuito se completa mediante los transistores  $Q_{12}$  a  $Q_{15}$ . De ellos,  $Q_{13}$  y  $Q_{14}$  forman una compuerta OR por la cual se permiten tres posibilidades, apagado total, si la temperatura es mayor que la predeterminada en  $P_{15}$ , encendido intermitente (dosificado), si la temperatura es ligeramente menor al valor de  $P_{15}$ , pero dentro de la zona de aproximación determinada por  $P_3$  o continuo, cuando la temperatura se encuentre por debajo de esta banda. A su vez,  $Q_{12}$  se encuentra en serie formando una compuerta AND en relación con los dos anteriores y permite el paso de señal siempre y cuando el sistema este más frío que la temperatura del límite máximo determinado en  $P_{14}$ . De este modo, la unidad electrónica tiene doble mecanismo de apagado.

Finalmente, la señal de salida de este bloque se aplica a tres diodos emisores de luz, uno de ellos es indicador en el tablero de calefactores encendidos, mientras que los otros son parte de los optoacopladores que accionan al sistema de calefacción (ver sección de potencia).

Un circuito adicional, es el de monitoreo. Consiste en un ICL 7107 convertidor analógico / digital con salida de  $3 \frac{1}{2}$  dígitos en display de LEDs. El circuito se configuró para una sensibilidad de 2 V en escala completa, lo que nos permite leer una decimal en °C, es decir, la escala máxima es de 199.9 °C. El conjunto se maneja como un voltímetro común, la entrada negativa la referimos a tierra, mientras que la positiva, la conmutamos a través de un interruptor rotativo de 3 posiciones, que corresponden a la lectura del sensor (punto B), a la temperatura programada (punto I) y a la temperatura del limitador (punto H). Este circuito se alimenta directamente de la fuente regulada de +/- 5 V.

## 6.2 CONVECCIÓN Y CIRCULACIÓN FORZADA DE AIRE

Igualar la temperatura en todos los puntos en el interior de la cámara, resulta ser uno de los aspectos buscados, sin embargo, debido a efectos de convección y pérdidas a través de las paredes, existen por sí mismo, diferencias importantes.

Partimos de la idea de que aún con las paredes aisladas térmicamente, existen fugas de calor del interior al exterior de la cámara, estas fugas no son de la misma intensidad en todos los puntos, en otras palabras, mientras mayores son estas fugas, mayor es la pérdida de temperatura en ese punto de la cámara.

Básicamente las partes con mayor transferencia de calor son las puertas de vidrio, sus rieles y las zonas de soporte mecánico (la estructura), que no contienen aislante o lo tienen muy delgado. Por su parte, las paredes, la base y techo de la cámara tienen menor pérdida ya que la fibra de vidrio es muy buen aislante.

Combinando los aspectos mencionados con la entrada de aire de las puertas y rieles, se produce una diferencia de temperatura importante, que alcanza entre 7 y 10 °C, entre el punto más caliente y el más frío (buscando una temperatura media cercana a los 40 °C con 19 °C ambiente).

Para reducir este problema se instalaron cuatro ventiladores, dos en cada extremo de la cámara, cuya función es la de mantener en movimiento permanente el aire, con esto, se reduce a valores cercanos a un grado centígrado la diferencia, medido a 40 °C con 19 °C en el ambiente.

Se estudió el tipo de ventilador adecuado y seleccionamos uno con aspas metálicas, rodamientos con baleros lubricados con grasa de litio con bisulfuro de molibdeno para operar mejor en el ambiente caliente y motores sin chispa como precaución contra incendio, dado que el proceso anaerobio produce metano. Además, se buscaron motores que operan adecuadamente a 85 °C, y cada uno de ellos consume 0.9 A en 127 V.

Adicionalmente al beneficio mencionado de homogeneización de temperatura, la circulación forzada de aire permite tener actualizados a los sensores de temperatura y concentración de metano.

### **6.3 EFECTOS DE LA EXTRACCIÓN Y RENOVACIÓN DE AIRE.**

La cámara se encuentra conectada a una línea de extracción de aire, con el propósito de renovar continuamente la atmósfera interior, y así, en caso de fuga de metano, difícilmente se alcanzaran concentraciones peligrosas. Además, de que en condiciones en que se produzcan olores por el proceso, éstos son absorbidos y no salen al laboratorio.

Para que la renovación de aire sea efectiva existen unas rendijas que permiten la entrada de aire limpio (del ambiente pasando por un filtro atrapa-pelusa), se busca que la extracción sea ligeramente más fuerte que la entrada de aire, para lograr una tenue presión negativa, así la atmósfera interior de la cámara no sale hacia el laboratorio.

En condiciones normales de operación, los reactores no presentan fugas de metano y la atmósfera interna está limpia. Mientras que cuando se abre voluntaria o accidentalmente un digestor, se requiere mayor capacidad de succión. Esto determina que la extracción debe tener al menos dos capacidades. Como el sistema de extracción disponible, ya está instalado y tiene capacidad sobrada, se conecta mediante una línea de 6" de diámetro con una válvula de tipo guillotina con mando manual. La válvula tiene dos posiciones, totalmente abierta y semiobstruida. Normalmente opera en esta última posición y se abre sólo en caso necesario.

Esta permanente circulación de aire, implica una importante pérdida calorífica, por lo que requerimos considerarla en el dimensionamiento de los calentadores.

#### 6.4 CONSIDERACIONES DEL EQUIPO DE CALEFACCIÓN

Los elementos calefactores son una parte determinante en el desempeño del sistema y hay una serie de puntos que deben ser tomados en cuenta. Empezaremos por revisar material, forma y tamaño.

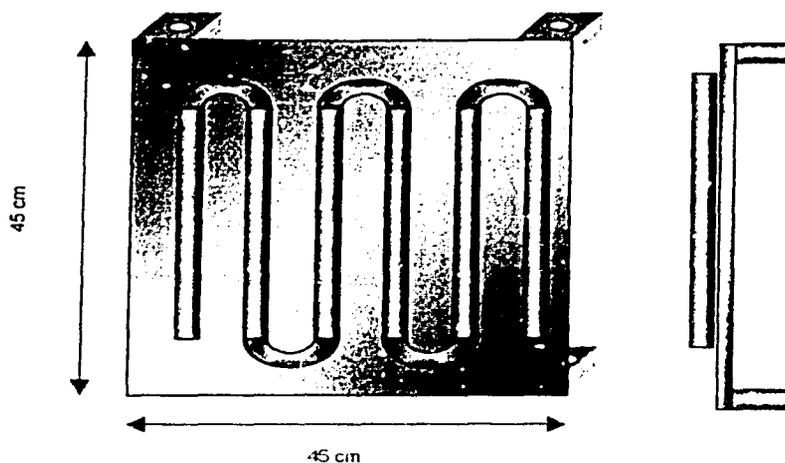
Buscamos que cada calentador tenga la mayor área de contacto con el aire, así transfiera la mayor cantidad de calor y su temperatura es casi igual a la del aire que calienta (siempre y cuando la velocidad del flujo de aire sea alta), de otro modo trabajarían más calientes.

Se requiere también, que el material sea compatible con la atmósfera interior que además de aire, contiene  $\text{CH}_4$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  y pequeñas concentraciones de  $\text{NaOH}$ .

Básicamente, los elementos más agresivos son los dos últimos. Comercialmente, los calefactores pueden comprarse como un alambre resistivo simple (alambre nicromel), o recubiertos por un tubo de cobre, aluminio, acero inoxidable, vidrio o material cerámico. El cobre es rápidamente atacado por el  $\text{H}_2\text{S}$  junto con el nicromel en menor proporción, mientras que el aluminio reacciona con los alcalinos como el  $\text{NaOH}$ . Por tanto, las opciones son con el acero inoxidable, el vidrio y la cerámica.

De estos materiales, el de mayor costo es la cerámica, comparativamente con los otros dos, además de requerir un procedimiento más complicado para su manejo. Por lo anterior, preferimos el acero inoxidable y el vidrio, sin embargo, este último resulta frágil en su manejo e instalación, por lo que la decisión final apunta al acero inoxidable.

En relación con la forma y tamaño, se seleccionó tubo de 3/8" (9.53 mm) en forma de serpentín, soldado a una lámina de 45 x 45 cm ( más soportes) para mejorar la disipación de calor al aire, según se ilustra en la figura 13. Se consideró que la lámina tuviera aletas de disipación, pero no se utilizaron ya que complica el proceso de fabricación y esto significa mayor costo y mayor dificultad para sustituirla como refacción de repuesto. Así mismo evaluamos el beneficio que se deja de tener por usar una lámina plana y es realmente poco.



**FIGURA 13. CALENTADOR DE 800 WATTS.**

*Esta unidad, está hecha con una lámina de acero inoxidable cuadrada de 45 cm por lado, y a su vez está soldada a una resistencia en forma de serpentín también de acero inoxidable. En los extremos superior e inferior dispone de apoyos para sujetarse sobre el chasis.*

Referente con el mantenimiento y confiabilidad de operación, se ubicaron dos accesos en el frente de la cámara, en los dos extremos laterales, en cada uno de los cuales se encuentra un calentador y dos ventiladores. Así, se facilita la operación de mantenimiento. Además, se consideró que las dimensiones de los accesos y la distribución de sus elementos, permitan trabajar con comodidad al instalar y manipular los calentadores y ventiladores.

La utilización de doble calentador, con doble etapa de potencia, incrementa fuertemente la confiabilidad, ya que al fundirse un calentador, puede sustituirse mientras que el otro esté operando y aunque si se producen diferencias en la temperatura, son sumamente pequeñas (menores a 3 °C) y pueden ser compensadas parcialmente mediante una reprogramación del control de mando.

Según se mostró en el circuito electrónico correspondiente, los calefactores cuentan con un indicador en el tablero para mostrar su correcta operación, así el usuario se entera inmediatamente cuando se presente una falla en uno de ellos.

Por último, el dimensionamiento de los calentadores como se mencionó en los puntos 6. y 6.1.2 (Controlador de temperatura y Fuente de poder y unidad de potencia respectivamente), se refieren a dos elementos de 800 Watts c/u.

Según las pruebas que se realizaron, mencionadas en el punto 5.4 Diseño definitivo del contenedor, el equipo tiene pérdidas térmicas en el orden de 976 cal/s que equivalen a 234.2 J/s o watts, para una temperatura de 40 °C partiendo de 20 °C, pero si se usara el sistema en 70 °C, la pérdida se incrementa 2.5 veces a 586 watts, para que el sistema de control pueda alcanzar la temperatura, la potencia neta de los calentadores debe ser mayor a esta cifra.

Al agregar el sistema de extracción, la pérdida de calor se incrementa en el orden de 189 J/s a 40 °C, sin embargo, los digestores alojados en el interior tienen un calentador propio cada uno, lo que en conjunto aporta calor que estimamos entre 60 y 90 J/s. Este punto no se ha probado a la fecha, ya que aunque el equipo está terminado, aún no se ha instalado.

De lo anterior, podemos concluir que manejando cifras redondas 340 watts continuos puede abastecer al sistema a 40 °C y unos 850 watts si se utiliza en 70 °C. Considerando que el diseño es para la primera cifra y eventualmente sólo a modo de prueba podría usarse la segunda, un calentador de 1600 watts permite dosificar suficiente calor para incrementar la temperatura en forma eficaz y al alcanzar la temperatura programada, sólo se requiere el 21 % del tiempo de trabajo (340/1600), o el doble de tiempo (42 %) si se usa un sólo calentador de 800 watts.

Según mencionamos en la descripción del controlador, se dispone de dos zonas térmicas preajustables y se calibraron a 29 y 38 °C respectivamente. Así, los calefactores operan a 1600 watts por abajo de 29 grados y a potencia reducida entre 29 y 38, apagándose en temperaturas superiores.

Si el ciclo de trabajo se calibra por encima de 42 %, por ejemplo, a 46 % que realizamos una prueba, el sistema puede operar indistintamente con uno o dos calefactores, sin embargo cuando está en 800 Watts es un poco lento en alcanzar la temperatura final, mientras que con 1600 Watts el sobrepaso se incrementa ligeramente (aproximadamente a 2 1 °C)

Otra opción, es ajustar el ciclo de trabajo a valores menores, por ejemplo al 30 % y se obtuvieron excelentes resultados, con variaciones por debajo de 1 1 °C, aunque tiene como inconveniente, que requiere de ajuste cuando se funda un calefactor o cuando se lleve a 70 °C.

Como se aprecia, la solución no es única, podrían programarse nuevos valores para potencias distintas y esto se continuará ensayando una vez instalado, hasta obtener conclusiones prácticas que podamos emplear en futuros desarrollos.

## CAPITULO VII

# REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE SEGURIDAD

Cuidar los puntos de seguridad en este trabajo resulta de gran importancia debido al tipo de uso que se le asigna. Primeramente, se pretende que se minimicen las variaciones grandes de temperatura, sobretodo en sentido ascendente, ya que pueden dañar el metabolismo bacteriano y provocar una interrupción en el proceso de cultivo, procesos que comúnmente duran varios meses.

Por otro lado, resulta fundamental cuidar que no se den las condiciones que pudieran iniciar un incendio, o una descarga eléctrica al operador, ni tampoco la creación de focos infecciosos no controlados que pudieran llegar a dañar la salud de los usuarios.

Por ello, hemos separado este análisis en varios puntos fundamentales que revisamos en seguida.

### 7.1. ASPECTOS QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS.

Cuando se manejan diversas sustancias químicas, es necesario conocer hasta donde sea posible, las propiedades y forma de uso seguro de cada una de ellas.

Las precauciones que deben tomarse durante el manejo de este equipo relacionadas al aspecto bioquímico, podemos sintetizarlas en los siguientes puntos fundamentales:

- La posibilidad de infectarse o ser portador de algún tipo de elemento biológico como hongos o bacterias entre otros.
- Tener contacto con sustancias químicamente activas que puedan causar alguna lesión, o bien, que causen daño a alguno de los instrumentos.

Referente al primero, los riesgos incluyen además la contaminación de las bacterias por algún otro tipo de material biológico, que en el mejor de los casos no trasciende más allá de invalidar los resultados de la investigación, con todas las consecuencias que conlleva esto. Pero en situaciones peores, puede contaminarse a alguna persona.

Por ello, en nuestro diseño, hemos cuidado con gran esmero, que no existan elementos filosos, ya que una herida leve en la piel en este ambiente, podría tener fuertes consecuencias.

Por otro lado, la forma de la cámara, sus acabados y materiales, permiten que se acumulen muy pocos residuos y que el área sea muy fácil de limpiar y desinfectar, así, esta tarea puede realizarse periódicamente sin ninguna dificultad.

Parece ser que en este punto la adecuada higiene es el elemento principal, junto con un buen diseño del equipo y del proceso de uso. Recordemos que en condiciones normales el usuario difícilmente queda en contacto con la masa biológica porque se encuentra dentro de sus propios contenedores. Así, de este modo, las precauciones son redundantes.

## **7.2. MATERIALES Y ELEMENTOS CONTRA INCENDIO.**

Durante el diseño se evitó el empleo de materiales que por su naturaleza pudieran generar cualquier tipo de riesgo para facilitar un incendio.

Esto incluye, desde los materiales flamables, hasta la restricción de materiales que pudieran, una vez envejecidos, significar algún tipo de riesgo.

Básicamente, la atención se enfoca a evitar elementos que generen puntos exageradamente calientes o con chispas eléctricas.

Así, hemos buscado que los puntos de conexión de los calentadores estén perfectamente sujetos y con doble apoyo, además de contar con placas aislantes en su entorno, para evitar que en caso de ruptura de alguno, se hiciera un corto circuito contra el chasis u otro elemento.

Los cables que se manejan son de doble aislante con recubrimiento de asbesto y están montados sobre soportes aislantes que los guían.

Los elementos motrices internos no producen chispa y los interruptores, relevadores y dispositivos similares que si pueden producir chispa, se encuentran en el exterior (fuera de la atmósfera de riesgo).

Como se mostró en el diagrama electrónico, en la sección de potencia, se cuenta con un termostato mecánico de tipo FLIP-FLOP calibrado para desconectarse a 75 °C (puede ajustarse entre 40 y 90 °C). Este dispositivo se activa presionando un botón de presión (RESET) cuando se encuentre a una temperatura menor a la programada.

Como precaución adicional, se colocaron fusibles térmicos en el circuito de cada calefactor que abren a 82 °C, esto como medida redundante de seguridad.

Por último, en caso de presentarse algún incendio en el interior de la cámara, su forma y materiales permiten la compatibilidad con el uso de extintores de cualquier tipo, ya que los líquidos (inclusive si se usa agua), no salpican a las áreas eléctricas, excepto cuando estas se abran manualmente para mantenimiento.

### **7.3. CONSIDERACIONES PARA ATMÓSFERAS INFLAMABLES.**

Se dice que una atmósfera es inflamable cuando la concentración de un gas combustible en el aire, a una determinada temperatura y presión, provocan la propagación de flama.

Si la concentración de combustible es inferior a un cierto valor, el combustible no enciende, o si es demasiado concentrado, tampoco, ya que falta comburente. Así, para el metano disponemos de los siguientes datos:

Los límites de inflamabilidad mínimo y máximo en el aire son de 5.0 a 15.0 % por volumen respectivamente, a 1 Atmósfera

Por su parte, la temperatura a la que se realiza este proceso es aproximadamente de 650 °C. La ciudad de México se encuentra a 2200 SNM., lo que mantiene una presión atmosférica en el orden de 0.78 Atmósferas, esto hace que la temperatura crítica se incremente.

Los digestores en condiciones normales están herméticos y no expulsan el biogás a la cámara, lo hacen a través de una línea adecuada hacia la atmósfera exterior. En el supuesto caso que los cuatro digestores vaciaran su contenido dentro de la cámara y ésta no tuviera ventilación, apenas se acumularían unos 20 litros de biogás por día y de ahí, sólo un 60 % es metano y como un 39 % bióxido de carbono. Para las dimensiones de la cámara, tendrían que pasar muchos días para acumular una concentración peligrosa.

Por otro lado, la temperatura interior nunca se acerca a 650 °C. Por lo que se requiere una flama externa o chispa y dadas las precauciones que se están tomando, prácticamente es imposible que exista un incidente de este tipo.

Además, se ha incorporado un sistema para monitorear la concentración interna de metano, y dispara una alarma si se alcanza un valor entre 1 y 2 %.

#### **7.4. PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES AL USUARIO.**

No obstante que el riesgo de incendio es prácticamente inexistente, es necesario mantener éste y todos los equipos auxiliares en perfecto estado de mantenimiento, la principal recomendación es no tener exceso de confianza en ningún proceso. Así mismo, seguir las recomendaciones dadas por los fabricantes de cada equipo.

Otro, punto importante para el usuario, es crearle conciencia de que está tratando con un sistema eléctrico y caliente. Por lo que debe tener precauciones contra quemaduras o electrocución, sobretodo al combinar el manejo de equipos con el manejo de líquidos.

## CAPITULO VIII

# MEDIDOR DE CONCENTRACIÓN DE BIOGÁS.

Como se mencionó, la cámara se equipó con una unidad que evalúe la concentración de biogás en su interior, este dispositivo mejora considerablemente la confiabilidad del sistema, ya que al asociar gases inflamables, áreas calientes y sistemas eléctricos implica una combinación de cierto riesgo. Por ello y como medida de precaución este dispositivo nos mantiene informados permanentemente si la atmósfera interna es o no satisfactoria.

El objetivo de este medidor es evaluar la concentración de metano en el ambiente interior de la cámara, ya que el biogás casi siempre está formado por metano en un 60% y bióxido de carbono en un 39% y avisar mediante una alarma acústica y visual si la concentración excede a un valor predeterminado. Se calibró este valor para una concentración de 1 % de metano aproximadamente. Sin embargo, para que pueda iniciarse el fuego, se requiere una atmósfera de aire con metano en concentración del 5 al 15% y un elemento que lo inicie como fuego o chispa.

### 8.1 ALTERNATIVAS DE MEDICIÓN.

Existen varias técnicas para medir la concentración de metano en el aire, de ellas buscamos una que sea confiable y rentable. Generalmente, la precisión de medición y el costo del proceso están íntimamente relacionados, en adelante mencionamos algunos de estos procesos.

Estos procesos de detección de gases se basa en aprovechar alguna de las características físicas o químicas o ambas de un gas para evaluar un cambio determinado que provoca su presencia. Por lo regular, la mayoría de estos métodos manejan un grado de complejidad relativamente alto y por tanto, el costo del proceso también es alto.

Algunos de los métodos más comunes consisten en emplear: el Detector por Conductividad Térmica (TCD), el Detector Fotométrico de Flama (FPD), el Detector por Absorción Óptica (OAD), el Detector por Ionización de Flama (FID) y el Detector por Conductividad Eléctrica (ECD). Además de estos métodos, se emplea en ocasiones algún tipo de reacción química cuyo resultado genere un incremento o decremento del volumen total del gas medido, así se puede simplemente evaluar presión o volumen que resulta más sencillo.

En el primero (TCD), se hace pasar el gas que se requiere analizar por una cámara con un calentador y un medidor de temperatura, generalmente es la misma pieza, ya que se puede emplear un termistor de poca masa. A este termistor se le pasa una corriente eléctrica que lo calienta. Debido a que la atmósfera que lo rodea es el gas que se pretende evaluar, la disipación de calor hacia las paredes de la cámara depende de la diferencia de temperatura entre el termistor y la cámara, y las propiedades de conducción térmica del gas. Si se pasa el gas a velocidad constante por dicha cámara y la presión es constante, la temperatura del termistor es función del tipo de gas.

Para evitar que las variaciones de temperatura del gas y ambiente afecten, el proceso se hace doble y la segunda cámara se usa con atmósfera controlada para referencia (generalmente con aire).

Los dos termistores se conectan con dos resistencias de precisión para formar un circuito en configuración PUENTE DE WHEATSTONE. Posteriormente, la señal obtenida es amplificada.

El FPD se basa en la expulsión de partículas de un gas al ser expuesto a una flama, mediante un proceso óptico, se recoge esta señal que es luz muy tenue filtrada a una longitud de onda específica.

Debido a la debilidad de esta señal, no se detecta en una fotocelda común, sino que es recibida en un tubo fotomultiplicador y posteriormente amplificada eléctricamente.

Por su parte, el OAD consiste en una cámara de gas atravesada por un rayo de luz a una longitud de onda específica que es medida en algún fotodetector adecuado (casi siempre en el espectro infrarrojo). Al alterar el medio gaseoso, se absorbe una parte de la energía en el gas debilitando el rayo que llega al fotodetector.

Los detectores FID y ECD funcionan de una manera parecida entre sí, en ambos se busca pasar una corriente eléctrica entre dos electrodos. En el primero, se realiza una combustión de Hidrógeno en presencia de aire o simplemente Oxígeno, a través de ella se pasan pequeñas cantidades del gas de muestra, esta condición provoca que se ionice el medio y permite entre los dos electrodos una conducción tenue. Esta pequeña corriente amplificada, contiene la información de la concentración de dicho gas en el medio (generalmente es un gas de acarreo y se utiliza Helio o Nitrógeno por ser gases neutros).

El ECD funciona similar aunque con diferencias importantes. Primeramente, no emplea flama, contiene los electrodos mencionados y la idea es llenar a uno de ellos de electrones (cátodo) y generalmente está a alta temperatura (mediante una resistencia eléctrica) y un electrodo positivo o ánodo en el otro extremo. El ánodo atrae a los electrones del cátodo propiciando la corriente eléctrica. Esta corriente es manipulada por la presencia del gas debido a que los electrodos interactúan de alguna manera con el gas muestreado. Generalmente se emplea un cristal de óxido metálico como el  $\text{SnO}_2$ , este material se recubre de electrones libres al ser calentado y produce una corriente eléctrica contra el ánodo, pero tiene la propiedad de adsorber oxígeno del ambiente (que por lo regular es aire). Este recubrimiento de oxígeno reduce fuertemente el flujo de electrones hacia el ánodo, pero al pasar un gas que robe el oxígeno, provoca que se incremente la corriente.

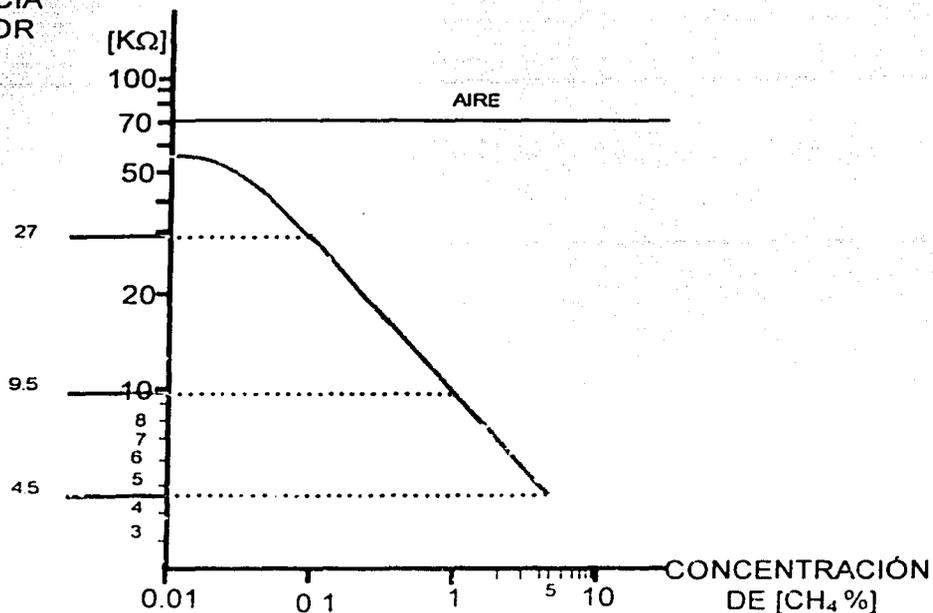
Este último método es entre los mencionados, uno de los más simples, y por mucho, el de menor costo, por ello, es el que empleamos en nuestro sistema. En adelante, hacemos una descripción de la aplicación.

## 8.2 DISEÑO FUNDAMENTAL DEL CIRCUITO.

Basándonos en que buscamos un sistema que únicamente active una alarma al alcanzar un nivel de concentración, seleccionamos dentro de los sensores de bajo precio, uno que tiene buena estabilidad térmica y maneja el rango de concentración requerido.

Se trata de un sensor de tipo ECD de la familia TGS de una conocida marca, el cual tiene un comportamiento prácticamente resistivo, equivalente a 70 o 75  $\text{K}\Omega$  en presencia de aire, al 60 % HR, 20 °C y presión de la Ciudad de México, 0.78 bar.

Este valor se reduce a 27  $\text{K}\Omega$  a 100 ppm de metano y a 9.5  $\text{K}\Omega$  a 1000 ppm como puede observarse en la siguiente gráfica.

RESISTENCIA  
DEL SENSORFIGURA 14. GRAFICA DE RESISTENCIA vs. CONCENTRACIÓN DE  $CH_4$ .

Por otra parte, en las siguientes gráficas se muestra la variación de la respuesta del sensor con 1% de metano en función de la temperatura y la misma respuesta en función de la presión

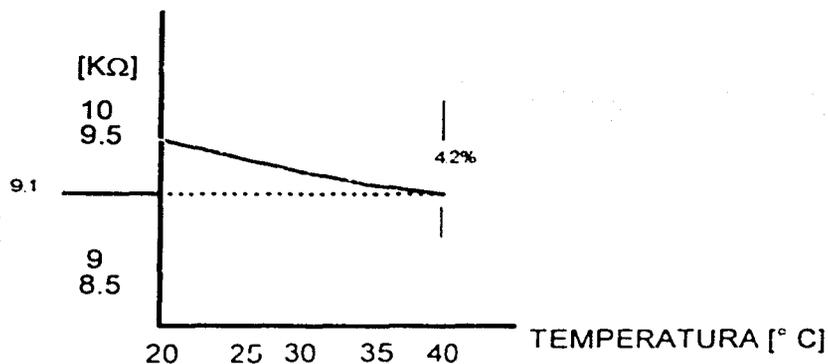
RESISTENCIA  
EQUIVALENTE  
DEL SENSOR

FIGURA 15. GRAFICA DE RESISTENCIA vs. TEMPERATURA.

RESISTENCIA  
EQUIVALENTE  
DEL SENSOR

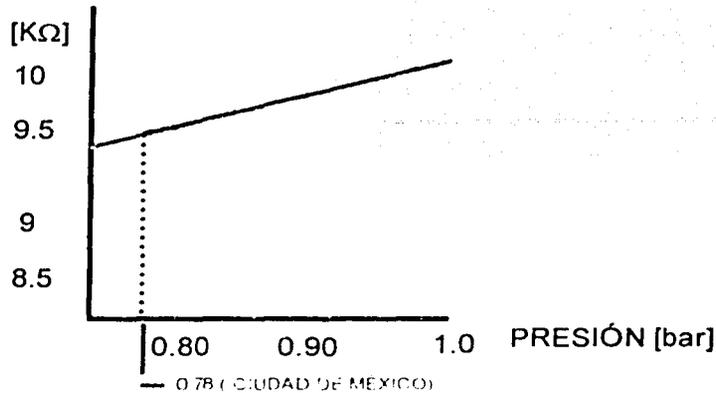


FIGURA 16. GRAFICA DE RESISTENCIA vs. PRESIÓN.

En las dos gráficas anteriores se aprecia la respuesta del sensor en función de la temperatura y la presión del medio, respectivamente.

Debido a que la presión atmosférica no va a cambiar significativamente una vez que está instalado el equipo, no se requiere ningún tipo de circuito de compensación.

Por su parte, la temperatura del gas si va a cambiar entre 20 y 40 °C aproximadamente, esto representa una variación en la respuesta del sensor del 4.2%, valor que para el objetivo buscado, no es significativo, ya que el umbral de disparo de la alarma se calibró para 1% a 40°C y estamos sumamente lejos de un valor peligroso de la mezcla de gases, que se vuelve inflamable a partir del 5%. El valor mencionado de 4.2% afecta la respuesta del sensor a 1% de concentración desviándolo a 0.958. Por lo tanto, tampoco la temperatura requiere de un circuito de compensación. Con esto, la configuración del circuito electrónico empleado se simplifica en forma significativa como podemos apreciarlo en el siguiente diagrama.



En este circuito se aprecia el detector de metano, un circuito con dos comparadores, el primero, es el que determina el umbral de alarma, mientras que el otro bloquea al primero durante un periodo de 80 segundos aproximadamente en el inicio del funcionamiento (auto reset). Esto se hace porque el sensor tarda entre 40 a 60 segundos en estabilizarse, ya que requiere alcanzar su temperatura de servicio. Así evitamos dar falsas alarmas al encender el equipo.

### **8.3 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA LA MEDICIÓN DE BIOGÁS.**

Básicamente, si el objetivo del circuito es la evaluación del porcentaje de metano en el aire por volumen, debemos incorporar algunos otros factores paralelos que de alguna manera, afectan los valores registrados.

Uno de estos aspectos es la temperatura del gas y del sensor, que de hecho, ya se ha considerado en el diseño del circuito electrónico. El sensor tiene internamente su propio calentador, el cual hace que trabaje a mayor temperatura que el medio, pero sigue dependiendo de su temperatura. Las pruebas que realizamos al respecto, las hicimos metiendo el sensor junto con cuatro termómetros en una bolsa para gases, con una atmósfera de aire con 60% HR y con el 1% de metano (gas de referencia). A su vez, esta bolsa se metió dentro de una caja de plástico aislante térmico y se probó desde una temperatura ambiente de 18 °C, hasta 45.

La bolsa para gases tiene dos motivos, mantener constante la composición de la mezcla de gas interior y mantener constante la presión cuando se modifique la temperatura, ya que puede ajustar adecuadamente su volumen.

La temperatura en el interior del sensor, no la medimos debido a que alteraríamos su funcionamiento con nuestro termómetro y lo que realmente necesitamos conocer es la relación entre la temperatura del gas y la respuesta del sensor.

Este dato, ha sido ligeramente distinto al que proporciona el fabricante, resultando ligeramente más estable el sensor de lo que se especifica. Esta diferencia es de 7% de cambio al variar la temperatura de 20 a 40 °C en especificaciones, mientras que nosotros registramos un cambio de 4.2% aproximadamente. El principal motivo de esta diferencia, es la presión atmosférica, la especificación proporcionada por el fabricante es para nivel del mar.

Por su parte, la presión a la que trabaja el sensor afecta proporcionalmente su respuesta, sin embargo, en la práctica esto no es un punto significativo, ya que el equipo no es portátil y se calibró en la ciudad de México.

También debe considerarse la distribución de metano en el interior de la cámara, ya que si no se mantiene mezclado el sistema, el metano ocupa la parte superior por tener menor densidad que el aire (0.554). Además, el sensor requiere mantenimiento, ya que algunas partículas suspendidas y otras sustancias se

depositan en él, recubriendo los elementos activos y atenuando su sensibilidad. Esto no es demasiado significativo cuando se opera adecuadamente, sin embargo, recomendamos una o dos limpiezas al año para mantenerlo en buenas condiciones, estas se hacen con aire limpio comprimido o con nitrógeno, así como hacerle pruebas de respuesta a modo de comprobarlo.

Del mismo modo, requerimos ubicarlo en un lugar con corriente de aire, ya que si lo dejamos en una zona estancada, el sensor nunca se actualiza.

Por último, el sensor debe estar protegido contra derrames de líquidos, procesos de limpieza de la cámara, golpes accidentales y demás incidentes que deterioren su correcto funcionamiento. Por todo esto, ubicamos al sensor en la parte inferior-superior de la cámara, desviado de la mitad (cargado hacia un lado), debido a que justo en el punto medio la corriente de aire es casi nula. Y se encuentra ubicado con protección contra derrame de líquidos.

#### **8.4. ALARMAS, INDICADORES Y CONTROLES NECESARIOS.**

Estamos utilizando una alarma acústica y una óptica en paralelo. En el tablero se encuentra un control para silenciar a la alarma acústica, pero no a la óptica, ésta sólo se apaga reduciendo la concentración de metano en el sensor.

El nivel de disparo de la alarma se calibra mediante un potenciómetro preajustable no accesible al usuario. Por último, el circuito dispone de una luz piloto para indicar la condición de encendido y otra para indicar el tiempo inicial en el que se encuentra bloqueado el sistema para alcanzar su temperatura de servicio (auto reset).

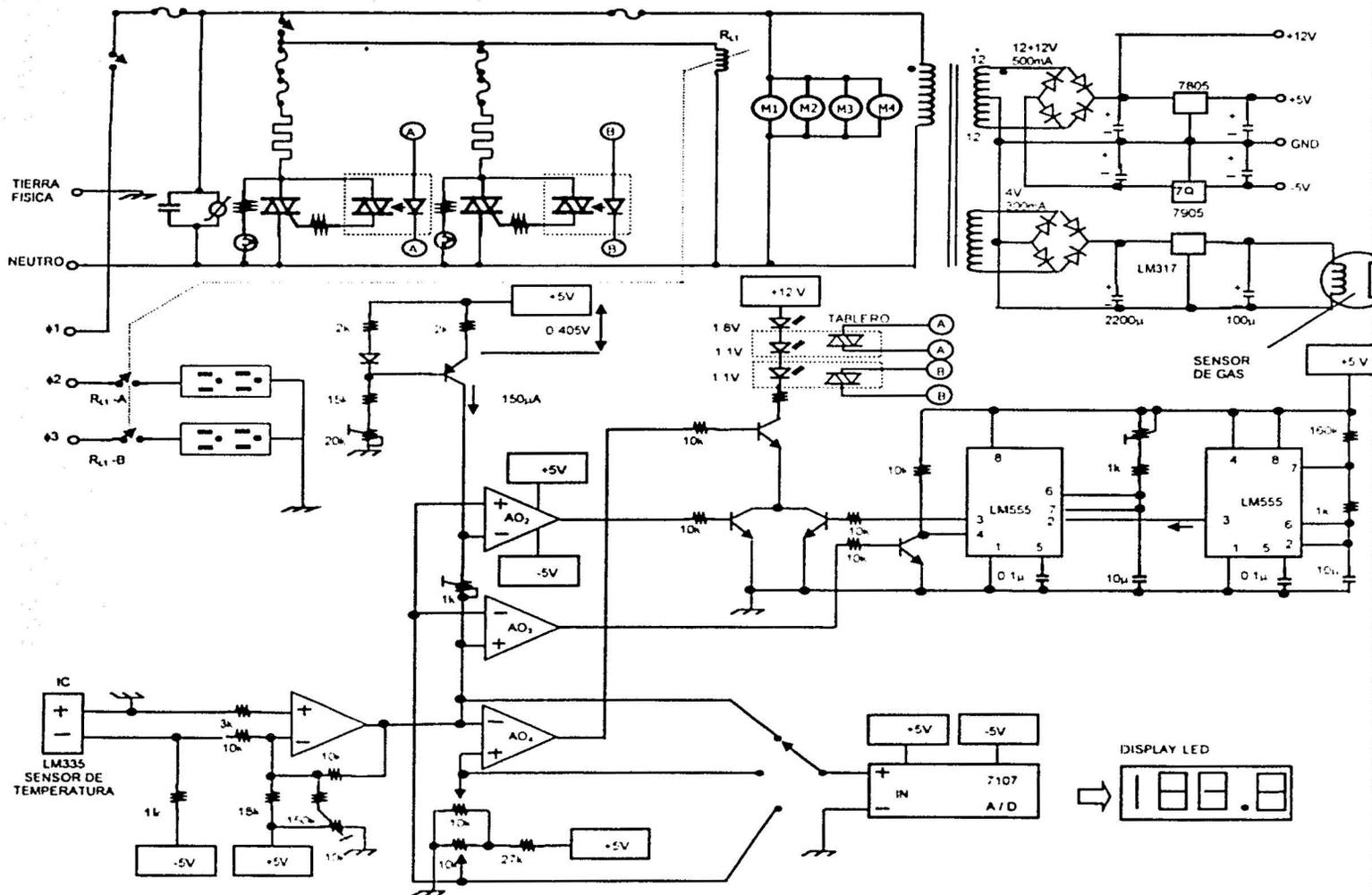
## CAPITULO IX

# INTEGRACIÓN DEL DISEÑO

Si bien, cada una de las etapas se ha estudiado individualmente, en esta sección revisamos algunos puntos interesantes que surgen al integrar el sistema. La primera parte se refiere a la integración de la unidad electrónica y en los otros puntos buscamos integrar el resto del equipo.

### 9.1. LA UNIDAD ELECTRÓNICA COMPLETA.

Este circuito obedece al planteado en bloques descrito en la sección 6.1.1. y cuyos circuitos respectivos se describieron a lo largo del trabajo. En él se aprecia en la parte superior izquierda, la fuente de poder. A la derecha, la unidad de medición de gas y en la parte inferior, se ubica el circuito de monitoreo y control de temperatura.



## 9.2. DISTRIBUCIÓN DE ELEMENTOS ACTIVOS.

En el siguiente dibujo se muestra la distribución de elementos activos de la cámara: sensor de temperatura, sensor de metano, calefactores, ventiladores, entradas y salida de aire, así como el panel de control y salidas de 127 V para equipos complementarios.

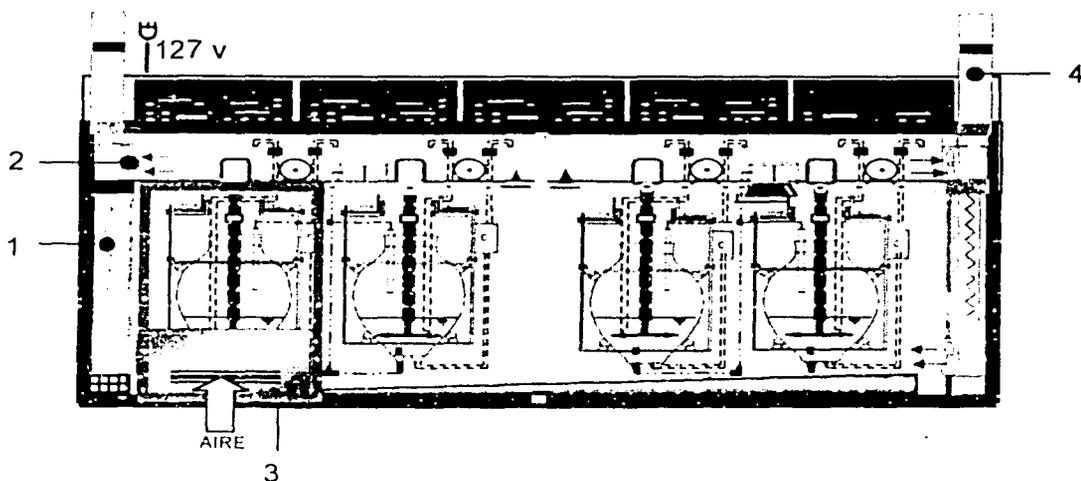
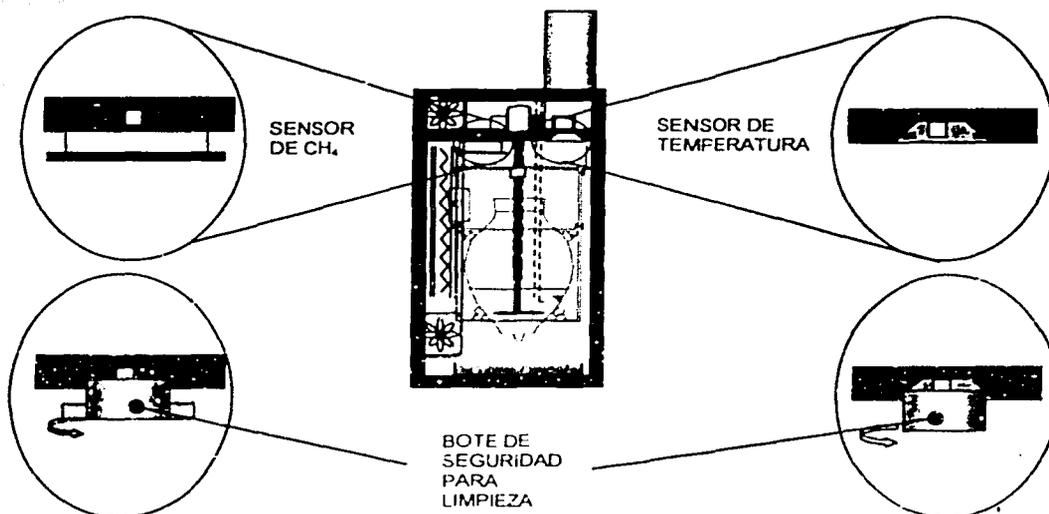


FIGURA 17. DIBUJO DE ELEMENTOS ACTIVOS.

En esta figura se muestran los elementos activos existentes en la cámara. en los extremos laterales, se observan los calentadores de 800 watts (1), unidos a dos ventiladores cada uno(2). En la parte inferior de las puertas extremas, se encuentran unas rendijas para permitir la entrada de aire fresco (3), el cual es succionado desde un sistema de extracción central del laboratorio, conectado a los ductos de succión(4).



**FIGURA 18 CORTE LATERAL DE LA CÁMARA DE AMBIENTACIÓN, Y LA UBICACIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA Y CH<sub>4</sub>.**

*Se muestra la ubicación de los sensores de temperatura y gas, así como la forma de cubrirlos en caso requerido, como sería durante la limpieza de la cámara y calibración del sensor de gas.*

Los sensores de temperatura y de metano se encuentran en la parte superior, de los digestores, ubicados entre el tercero y el cuarto, pero separados entre sí una distancia de 25 cm, uno atrás del otro, para evitar que se interfieran, tanto en su operación como en las tareas de limpieza y calibración que se realizan manualmente.

Esta zona tiene buena corriente de aire, así los sensores se actualizan rápidamente y entregan señales confiables. Se aprovecha también la posición del sensor de metano en la parte alta de la cavidad, para captar cualquier fuga, ya que por su baja densidad, el metano tiende a subirse.

Por simetría del sistema, la posición de sensores entre los reactores tres y cuatro es igualmente buena que entre el uno y el dos. Sin embargo, la primera posición representa una línea eléctrica un poco más corta, por lo que la preferimos.

Los ventiladores se encuentran dos en cada extremo, dentro de las áreas de servicio, los dos inferiores, uno izquierdo y otro derecho, inyectan aire caliente hacia la cámara por la parte baja. Aquí, aprovechamos el efecto de convección para provocar una corriente ascendente, y en la parte superior la succionamos para pasarla a través de los calentadores y cerrar el circuito. Aunque se aprovecha como dijimos, el fenómeno de convección, realmente se produce una corriente de aire forzada mucho más intensa debido a los ventiladores y fuera de la cámara, en los compartimientos de servicio, el flujo es vertical descendente al pasar por los calentadores.

Como se mencionó, existen dos puntos para la succión de aire a través de un extractor, éste representa un flujo independiente al de recirculación. El extractor es externo, y de hecho, es el sistema de extracción central del laboratorio.

Nuestro equipo cuenta con dos puntos porque nos permite mayor versatilidad en la instalación, puede operar con uno sólo conectado y el otro bloqueado, o con los dos activos. Lo importante es que el flujo total sea el mismo y éste se dosifica mediante la válvula de guillotina en la succión. Esta válvula como se mencionó, tiene dos posiciones, una completamente abierta y la otra con un orificio pequeño calibrado. Normalmente opera en esta última posición y se reserva la otra para una contingencia. Por ahora, esta válvula se acciona manualmente, pero en futuros desarrollos podría considerarse automática accionada por el medidor de concentración de metano pasado por un algoritmo adecuado.

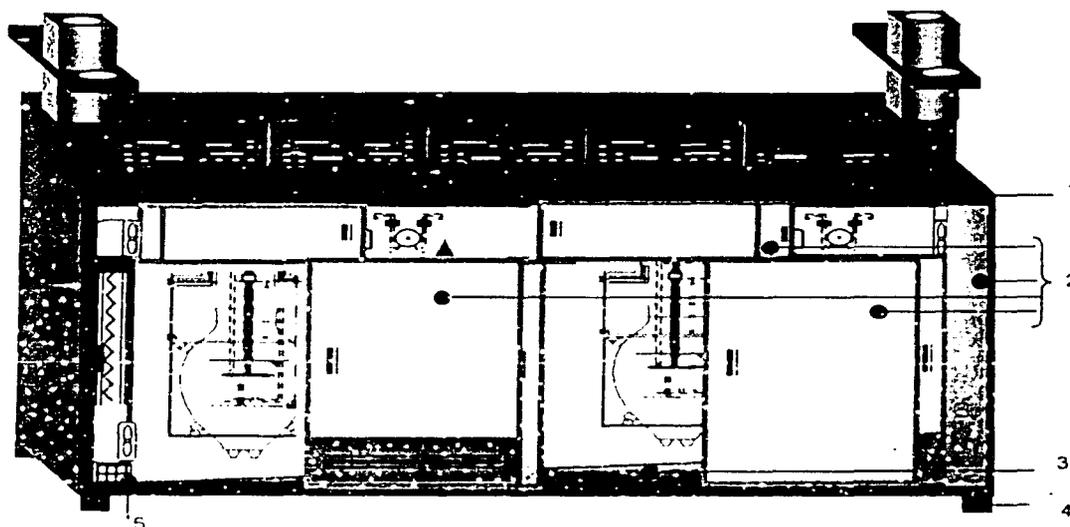
Externamente se encuentra el panel de control, separado de la cámara, ya que el medio ambiente interno es demasiado agresivo químicamente para los instrumentos y equipos electrónicos. Las conexiones que se encuentran internamente en las áreas para servicio están recubiertas y los motores internos son del tipo no chispa.

La entrada principal de energía está especificada en la parte superior izquierda, por lo que se recomienda el registro eléctrico de alimentación, ubicarlo en esta zona.

Dentro del panel de control, dejamos un espacio vacío en cada módulo y toda la parte superior, para futuras expansiones de equipo e instrumentos

### **9.3. DISTRIBUCIÓN Y FORMAS DE ELEMENTOS PASIVOS.**

Hemos designado por elementos pasivos a aquellos que complementan las funciones de este equipo, sin realizar en sí, ninguna tarea activa y nos referimos a la descripción de los aislantes térmicos, sellos, puertas, accesos, soportes, puntos de escurrimiento y algunos otros detalles



**FIGURA 19. DIBUJO DE LÒS ELEMENTOS PASIVOS.**

*En este diagrama se muestran los elementos pasivos como: (1) Paredes con aislante térmico interior de fibra de vidrio. (2) Puertas de acceso. Superiores de vidrio templado, inferiores de vidrio templado doble y laterales para servicio, de acero inoxidable. (3) Charola antiescurrimientos se encuentra en la parte inferior conectada al desagüe. (4) Apoyos principales de la estructura (5) Filtro para desagüe.*

De los elementos pasivos, el aislamiento térmico es uno de los puntos más importantes, ya que como se mencionó en el capítulo 5, este aspecto determina el dimensionamiento de casi todo el diseño.

Para determinar cual era el material optimo, tuvimos que estudiar la conductibilidad térmica de varios materiales como lo fueron:

Porcelana	$k = 1.30$	$\left[ \frac{mW}{cm^{\circ}C} \right]$
Ladrillo de carborundo	$k = 15.9$	$\left[ \frac{mW}{cm^{\circ}C} \right]$
Fibra de vidrio	$K = 0.407$	$\left[ \frac{mW}{cm^{\circ}C} \right]$
Vidrio	$K = 0.520$	$\left[ \frac{mW}{cm^{\circ}C} \right]$
Aire	$K = 0.650$	$\left[ \frac{mW}{cm^{\circ}C} \right]$

Se buscó también que los materiales fueran accesibles tanto en costo, como en el proceso requerido para su manejo. Por lo anterior, nos inclinamos por la fibra de virio como aislante en paredes, techo y piso. Y doble virio templado con aire intermedio para las puertas por razones funcionales y estéticas.

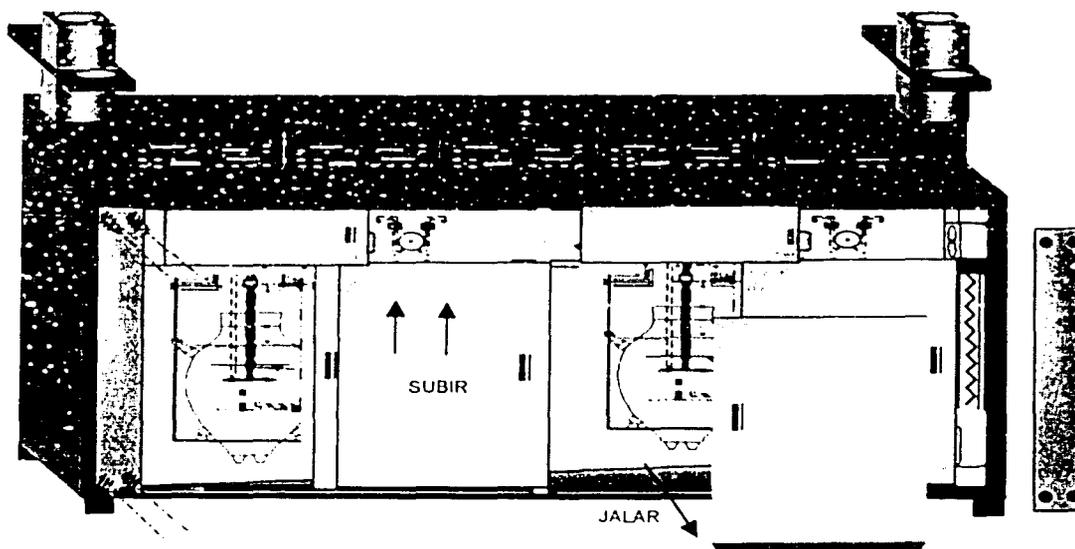
La fibra de vidrio es un material común, fácil de encontrar, sin embargo debe revisarse que el proveedor sea confiable para garantizar la calidad y el comportamiento del material contra las especificaciones ofrecidas. Es necesario trabajar este material con precaución, utilizando ropa adecuada, cubre bocas, guantes y anteojos cerrados ya que se trata de un elemento agresivo con nuestra piel y vías respiratorias. El vidrio por su parte es un material duro, pero se requiere cuidado al momento de estar montando este material en las molduras, ya que se pueden despostillar y la estética se perdería.

Por su parte, la charola de escurrimiento sirve para facilitar la limpieza de la cámara, ya que recibe los residuos básicamente líquidos que se produzcan, permitiendo realizar su limpieza en el exterior. Por debajo de estas charolas, existe el piso metálico con una pendiente de  $15^{\circ}$  orientado hacia el desagüe, el cual cuenta con una malla metálica, que ayuda a que no se vayan sólidos por el ducto.

Los soportes de la estructura que se encuentran en la parte inferior de la cámara, permiten apoyar a todo el conjunto. Cuenta con tornillos para nivelación

Las puertas del sistema están clasificadas en tres grupos según se describió, dos metálicas en los extremos izquierdo y derecho para servicio. Las otras son de vidrio para el usuario. Unas pequeñas en la parte superior dan acceso al equipo de bombeo y muestreo, mientras que las inferiores de mayor tamaño accesan a los digestores. Todas ellas comprendidas en la cara frontal del equipo, para mayor versatilidad.

Todas las puertas mencionadas tienen la capacidad de desmontarse fácilmente, lo que permite mejorar las condiciones de acceso para instalar el equipo interior, así como para procesos de limpieza. El procedimiento de montaje-desmontaje se muestra la figura 20.



**FIGURA 20. DETALLE DE DESMONTAJE DE PUERTAS.**

*En este dibujo se describen los pasos para quitar las puertas de vidrio y las de acero inoxidable.*

*Para desmontar las puertas de vidrio, se levantan ligeramente, hasta que dejen libre el nivel inferior, posteriormente se inclinan de la parte inferior hacia fuera. Las puertas de acero inoxidable, se desmontan por medio de cuatro tornillos allen ubicados en las esquinas.*

#### 9.4. MATERIALES PREFERIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN.

Como se ha visto a lo largo del trabajo, el diseño se simplificó fuertemente y con ello la variedad de materiales también.

Hemos hecho énfasis permanentemente en que los materiales no sean combustibles, ni se deformen fácilmente bajo las condiciones de operación, además de buscar una larga duración.

Bajo este criterio, el cuerpo y estructura de la cámara quedan construidos en acero inoxidable. Las puertas son de vidrio doble, refractario de 7mm de espesor montados en un bastidor de acero, sellado con pegamento de silicón antihongos para alta temperatura (180 °C).

El aislante térmico de las paredes, piso y techo, es de fibra de vidrio de 3.8 cm (1.5"). Los sellos de las puertas consisten en una tira vertical de neopreno recubierto de un acabado suave (parecido al fieltro) para bajar la fricción y poder deslizarse una puerta sobre la otra.

Los calentadores están soportados en unos apoyos incluidos en la estructura y son también de acero, únicamente el área cercana a las conexiones de los calentadores cuenta con un recubrimiento sobre el acero y es de material fenólico.

Los cables eléctricos todos son para alta temperatura (90 °C) con un recubrimiento adicional de asbesto. Además, se colocaron ductos para alta temperatura como guías.

Los motores de agitación corresponden al diseño de los digestores y no son tema de este trabajo, sin embargo, podemos mencionar que son motores de velocidad variable de CD de tipo herméticos y prelubricados.

Por otro lado, los equipos de control y demás unidades electrónicas se encuentran herméticas en cajas de plástico ABS.

Existe además otro grupo de materiales diversos considerados como auxiliares y se refiere al uso de piezas para montaje, ajustes, pegamentos, etc. Se seleccionaron para cumplir con los mismos aspectos de seguridad mencionados.

### 9.5. EL DISEÑO MECÁNICO COMPLETO.

Al momento, se han mencionado algunos aspectos sobre los elementos activos y pasivos de la cámara, así como de los materiales que se seleccionaron. En este inciso se busca presentar al diseño mecánico completo.

En las siguientes láminas mostramos el diseño completo del contenedor, así como algunos detalles adicionales como la estructura desmontable que soporta a cada digestor. Aquí podemos observar que el digestor tiene una forma externa oval y tiene una serie de entradas y conexiones en la parte inferior, por lo que se hizo una estructura metálica que sujetara a estos reactores mostrada en la lámina 9.5.

También se aprecian algunos detalles del acoplamiento motriz de los agitadores. Este es un cople que permite pasar el movimiento rotativo de la flecha a unas 100 ó 120 RPM y permite unir o separar fácilmente el equipo, ya que la flecha de agitación se encuentra unida y apoyada en el digestor, mientras que la unidad motriz está apoyada a la cámara.

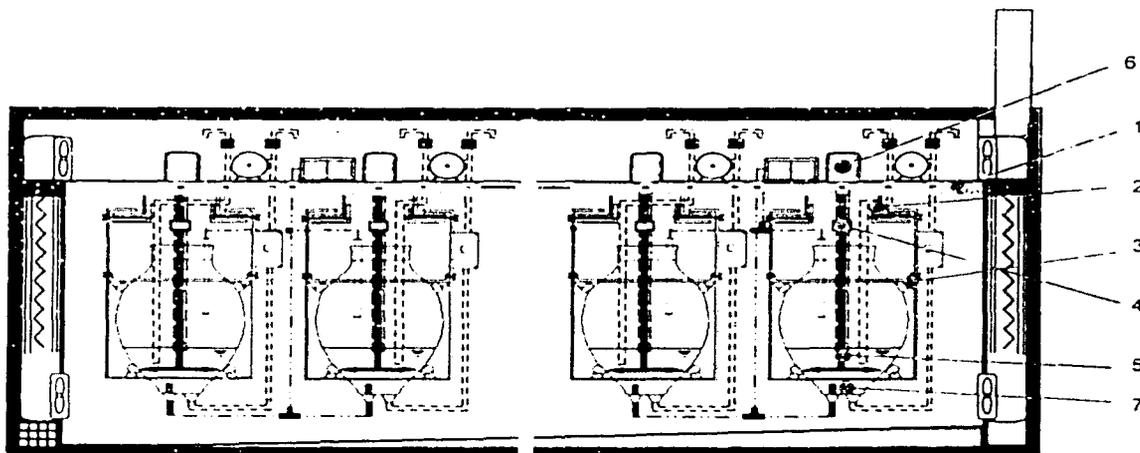


FIGURA 21. CORTE DE LA ESTRUCTURA DE LA CÁMARA.

(1) Plataforma principal de apoyo. (2) Riel fijo soldado a la plataforma principal para cargar a los digestores. (3) Estructura móvil para sujetar al digestor con apoyo en el riel fijo (4) Cople magnético para el eje de agitación. (5) Eje de agitación. (6) Motor de agitación. (7) Reactor.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

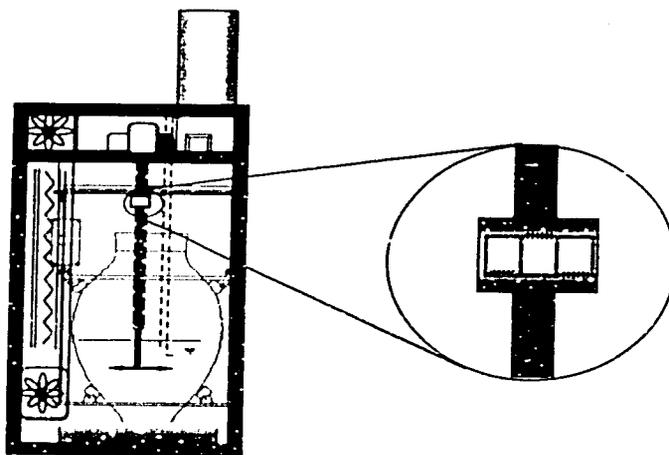


FIGURA 22. DETALLE DEL COPLE DEL MOTOR AL REACTOR.

## CAPITULO X

# INSTALACIÓN, MANTENIMIENTO Y TRANSPORTE

Al salir el equipo del taller de ensamble, ha sido cuidadosamente empacado con apoyos de plástico y protecciones de madera. Sin embargo, dado el tamaño del equipo y lo pesado que es, debe transportarse con un gran cuidado y seguir rigurosamente el procedimiento de transporte e instalación.

Las instrucciones de transporte se refieren básicamente a los puntos en los que se puede apoyar la unidad, los puntos frágiles que deben protegerse y los elementos de anclaje. Estas se encuentran pegadas sobre el exterior del empaque con sus dibujos correspondientes.

Referente a la instalación deben considerarse los siguientes pasos:

1. Primero deben desmontarse las dos tapas laterales de servicio.
2. Alinear su posición en relación con el lugar. Utilizar los apoyos atornillables para nivelar. Buscar que la parte superior (techo), quede horizontal (contra nivel de burbuja). Posteriormente, anclar firmemente el equipo.
3. Conectar el desagüe con la línea correspondiente en el lugar.
4. Destapar la salida de la línea eléctrica (parte superior izquierda).
5. Sellar con silicón los límites entre la cámara y la pared del lugar.
6. Montar las puertas (no intercambiarlas), siguiendo la indicación que tienen en la parte superior trasera.
7. Conectar la línea de extracción de aire (tubo de 6" flexible).
8. Conectar la toma de alimentación eléctrica
9. Retirar del sensor de gas la tapa protectora
10. Encender el equipo, revisando que todo funcione y apagarlo nuevamente.
11. Colocar nuevamente las dos tapas de servicio

En relación con el mantenimiento, el equipo debe ser revisado a los 30 días de instalado y posteriormente una vez por año, a modo de inspeccionar su estado, hacer limpieza interior, lubricar los motores de ventilación, comprobar el funcionamiento del sensor de gas, limpiarlo y de ser necesario, recalibrar.

Para realizar esta tarea, deben desmontarse las dos puertas de servicio a fin de hacer una inspección completa. Todos los elementos que se detecten desgastados o en estado inadecuado se sustituirán y se registrará en la bitácora de mantenimiento correspondiente a modo de poder detectar alguna deficiencia en el diseño y corregirla.

Al hacer cualquier trabajo en el interior de la cámara, se recomienda colocar la tapa protectora sobre el sensor a modo de evitarle posibles daños.

Una vez instalado y probado el encendido del sistema, seguir los siguientes pasos:

1. Instalar los 4 cuerpos de los digestores rellenos con agua al nivel correcto.
2. Encender el equipo.
3. Colocar la válvula de guillotina en el menor flujo de extracción.
4. Calibrar las temperaturas de servicio mediante un desarmador de relojero que se encuentra en la parte inferior de la caja de control.
5. Calibrar la temperatura máxima permitida para el usuario.
6. Esperar a que se estabilice la temperatura y verificar la inestabilidad térmica (1.1 °C a 40 °C).
7. Comprobar el funcionamiento de las tomas eléctricas auxiliares (127 V).
8. Revisar el funcionamiento de la alarma contra metano. Provocando una atmósfera artificial mediante el recipiente de prueba y saturándolo con una mezcla de aire y metano al 1%
9. De ser necesario, calibrar alguno de los controles preajustables internos, retirando la tapa de calibración, sólo para servicio. Estos controles no deben ser movidos por el usuario.

## CAPÍTULO XI

# ESPECIFICACIONES

**Capacidad:** cuatro digestores de cuatro litros cada uno de forma oval.

**Temperatura de operación:** 40°C

**Estabilidad térmica a 40 °C:** +/- 0.6°C, operando a 40 % de ciclo

**Alarma de concentración de metano:** acústica con control de apagado y visual permanente calibrada para disparar con concentraciones mayores a 1% (por volumen).

**Calefactores:** 2 x 800 W.

**Capacidad para trabajar con un solo calefactor.**

**Indicador de operación de calefactores para avisar si uno está fundido.**

**Desagüe para drenar líquidos.**

**Sistema de extracción de aire ajustable con válvula de guillotina.**

**Sistema de ventilación forzada de aire en el interior.**

**Espacios separados para los digestores, las bombas de recirculación y los equipos electrónicos.**

**Salidas auxiliares de 127 V para equipos complementarios, con desconexión automática por sobretensión. Dos grupos de salidas de 25 A cada una.**

**Puertas de vidrio templado para ver el interior sin abrirlas y para reducir los tiempos de manipulación con puertas abiertas.**

**Puertas deslizables para producir menor transitorio térmico al abrirlas.**

**Puertas desmontables.**

**Acabados interiores curvos para reducir focos infecciosos.**

**Dimensiones externas:** 1.50m de altura, 0.70m de ancho y 2.60m de largo.

## CAPITULO XII

# CONCLUSIONES Y RESULTADOS

1. Como primer punto se puede mencionar que se buscó construir la cámara de ambientación y actualmente está totalmente terminada, probada y calibrada.
2. Los parámetros mecánicos requeridos como capacidades, dimensiones, espacios, etcétera, han sido cubiertos adecuadamente conforme a lo planteado.
3. Algunos puntos que han sido sumamente sencillos, han aportado resultados sorprendentemente prácticos. Como es el hecho de haber eliminado las patas de cada reactor (actualmente suspendidos desde la parte superior), sumado con las charolas en la parte inferior de la cámara, reducen el tiempo de limpieza radicalmente, así como mejora la calidad de la misma.
4. La idea fundamental, la creación de una cámara de tamaño minimizado con compartimientos separados por funciones, comparado con el sistema anterior de un cuarto caliente con los operadores entrando y saliendo varias veces al día, ha sido un éxito. Permite mantener el interior de la cámara con variaciones inferiores a  $\pm 0.4$  °C cuando permanece cerrada y cambia a  $\pm 0.7$  °C al manipular el área de bombas y entrada / salida de lodos, comparativamente con el sistema anterior en donde registramos cambios de 9 °C aproximadamente, cuando los usuarios dejan la puerta abierta por varios minutos cada vez que entran (condición que con el sistema anterior era necesaria ya que el aire interior no se renueva por sí mismo).
5. En relación con los aspectos de seguridad, tanto de tipo biológico como eléctrico y contra incendios, también se avanzó en forma importante.

6. A la fecha, se tiene el equipo totalmente terminado, pero no está instalado aún, ya que se pretende modernizar toda el área de laboratorios y se pretende instalar después de la obra civil. Por ello, las pruebas que se han realizado a la fecha, así como los comentarios hechos por los usuarios, no son completos, ya que se requiere usarlo por largo tiempo para desarrollar una crítica adecuada.
7. En relación con la construcción del equipo, se observó que la construcción de las puertas puede simplificarse fuertemente, utilizando un marco preformado y los vidrios pegados con adhesivo automotriz.
8. Referente a los circuitos electrónicos, aunque siempre son susceptibles de cambios y modificaciones, han funcionado adecuadamente al momento.
9. Por último, si construimos una nueva cámara, el tiempo requerido sería menos de la mitad.

**CAPITULO XIII****REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Linear Data Book  
National Semiconductor Corporation  
2900 Semiconductor Drive  
Santa Clara, California 95051  
Tel: (408) 797-5000

Analog / Interface ICs  
Device Data Vol I, Vol II  
USA / EUROPE / Localities not listed: Motorola Literature Distribution;  
P.O. Box 5405,  
Denver Colorado 80217.  
303-675-2140 or 1-800-441-2447

Small – Signal  
Transistors, FETs and Diodes Device Data  
USA: Motorola Literature Distribution  
P.O. Box 20912; Phoenix Arizona 85036

Operational Amplifiers Data Book  
National Semiconductor Corporation  
2900 Semiconductor Drive  
P.O. Box 58090  
Santa Clara, CA 95052-8090

**Thyristor Device Data**

triacs &amp; SCRs

USA: Motorola Literature Distribution  
P.O. Box 20912; Phoenix Arisona 85036**Optoelectronics Device Data**USA: Motorola Literature Distribution  
P.O. Box 20912; Phoenix Arisona 85036**Optoelectronics Device Data**Global Optoisolator, Products  
USA / EUROPE: Motorola Literature Distribution  
P.O. Box. 20912, Phoenix Arizona 85036  
1-800-441-2447**Thyristor Device Data**USA: Motorola Literature Distribution  
P.O. Box 20912; Phoenix Arisona 85036**Teccor Electronics, INC**A Siebe Company  
1801 Hurd Drive, Irving Texas  
75038-4385**Semiconductors NTE**7TH editon  
NTE Electronics, INC  
44 Farrand Street, Bloomfield NJ07003 USA  
201-748-5089**Figaro USA, INC, General Technical Information**West Lake Ave, Suite 203  
Glenview, Illinois 60025  
1-847-832-1701  
<http://www.figarosensor.com>  
<http://www.sensor.kyungpook.com>  
<http://www.fisinc.co.jp>**Baumeister y Marks****Manual del Ingeniero mecánico de Marks Vol. I y II**  
UTEHA, Lionel S. Marks, Director 1916-1951  
Primera Edición.  
Trducción Santiago Alonso  
Reimpresión 1980

**Craveiro A.M.**

**Evolution and present situation of full scale anaerobic digestion of industrial waste waters in Brazil**

**Poster in VI Simposio International sobre Digestion Anaerobia, 1991**

**IAWPRC Sao Paulo**

**Noyola Adalberto**

**Tratamiento anaerobio de aguas residuales**

**Curso Internacional México – Centroamérica**

**II – unam 1993**

**Bandrich Salvador**

**Diseño y construcción de un titulador automático para un reactor anaerobio**

**Universidad Nacional Autónoma de México**

**Facultad de Ingenieria, México D.F. 1994**