

5
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MEDIDOR
DE FLUJO DE GAS METANO DE BAJA
VELOCIDAD PARA EVALUAR
REACCIONES BIOQUIMICAS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :
ALVA GUTIERREZ MA. LETICIA**



**DIRECTOR DE TESIS:
ING. JOSE LUIS RODRIGUEZ PEREZ**

MEXICO, D.F.

OCTUBRE 1991

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

I N D I C E

T E M A	Pag.
- I N T R O D U C C I O N .	1
CAPITULO I	
I.- DESCRIPCION DEL PROBLEMA.	6
CAPITULO II	
II.- ALGUNOS METODOS PARA LA EVALUACION DE GASTO.	13
CAPITULO III	
III.- DISEÑO DEL MEDIDOR DE GAS.	35
III.1.- CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS PERIFERICOS.	37
III.1.1.- DETECTORES DE NIVEL.	38
a) Detectores capacitivos.	
b) Detectores conductivos.	
c) Electrodo.	
III.1.2.- DISPOSITIVOS DE SALIDA.	45
a) Válvulas.	
b) Contador.	
III.2.- DISEÑO DE PROTOTIPOS PARA LA MEDICION DE FLUJO DE GAS METANO.	51

CAPITULO IV

IV.- CONSTRUCCION.	56
IV.1.- ESPECIFICACIONES EN EL MANTENIMIENTO DE LA VALVULA SOLENOIDE.	57
IV.2.- DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.	59
IV.3.- CIRCUITO ELECTRONICO Y LOGICA DE CONTROL.	61
i) Circuito de Alimentación.	
ii) Circuito de Control.	
IV.4.- CALIBRACION.	65
IV.5.- INSTRUCCIONES DE INSTALACION Y OPERACION.	67

CAPITULO V

V.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	70
---------------------------------------	-----------

APENDICE A

- ANTECEDENTES DE LOS PROCESOS ANAEROBIOS.	72
---	-----------

APENDICE B

- TABLAS DE EQUIVALENCIAS Y DATOS DEL EQUIPO.	78
- BIBLIOGRAFIA.	83

INTRODUCCION

I N T R O D U C C I O N

La medición del flujo del gas producido en algunas reacciones bioquímicas se utiliza en Ingeniería Ambiental como indicador de la actividad bacteriológica.

El modelo descrito en el presente trabajo permite medir dicho flujo y sirve a los investigadores de esta área para estudiar el comportamiento en algunas reacciones bioquímicas en las que intervienen bacterias anaerobias, es decir, bacterias que no necesitan de oxígeno para poder desarrollar sus funciones metabólicas.

Dentro de la alimentación variada de estas bacterias esta la celulosa vegetal y los desperdicios orgánicos, los cuales tienen la ventaja de ser relativamente económicos y fáciles de obtener.

Actualmente se realizan experimentos con agua residual la cual mejora su calidad al someterse a la acción de las bacterias anaerobias. Este procedimiento, desarrollado en gran magnitud, permitiría un ahorro importante en el consumo de agua potable en una ciudad como la nuestra.

Por otra parte, como consecuencia de este proceso, existe un

desprendimiento de gas metano que se puede utilizar como combustible. El objetivo del dispositivo a desarrollar es poder cuantificar el volumen de metano generado, ya que, conociendo la velocidad de producción del gas, es posible estudiar cada elemento que altera la actividad bacteriológica y permitir un mejor control del proceso.

Los procedimientos anaerobios se han empleado en China desde el siglo pasado para la obtención de biogás¹⁾ 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.

En este proceso biológico la materia orgánica contaminante se utiliza como alimento para los microorganismos presentes en tanques o reactores quienes obtienen de ella la energía necesaria para llevar a cabo sus funciones vitales y su reproducción.

De esta manera los compuestos contaminantes se transforman en

¹⁾ Biogás: Es el gas combustible que se obtiene de materia biodegradable.

células nuevas y otros productos que pueden separarse del agua con mayor facilidad.

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, mecánica o eléctrica según sean las necesidades.

El proceso anaerobio en este caso es un productor de energía y los lodos, además de producirse en menor cantidad, ya están lo suficientemente estabilizados como para poder desalojarse directamente sin un tratamiento previo. Por lo tanto puede

considerarse la vía anaerobia como un proceso altamente eficiente en la conservación y/o generación de energía y del mejoramiento del medio ambiente.

A través de este método puede obtenerse una muy buena cantidad de energía, debido al considerable volumen de metano producido por el reactor anaerobio, de 0.2 a 0.3 m³ de CH₄ a TPN⁽²⁾ por kg de DQO eliminado; siendo el poder calorífico del metano: 8.850 kcal/m³ ó 35.135 BTU/m³.

Comparativamente, el gas propano y el butano tienen un poder calorífico de 22.441 y 29.017 kcal/m³ respectivamente, pero su obtención es mucho más costosa, además que es un producto no renovable.

Con la finalidad de obtener un diseño sencillo y equilibrado, se considera enfocar el proyecto a un dispositivo compacto tomando en cuenta varios factores que influyen determinantemente en la construcción, como es la atmósfera de la cámara en la que se instalará, ya que se trata de un lugar húmedo, caliente y con agentes corrosivos, además que en los conductos de gas circula metano, con residuos de hidróxido de sodio y de ácido sulfúrico

²TPN: Es igual a temperatura y Presión Normales = 0°C y 1 atm.

que pueden dañar los componentes alterando las lecturas obtenidas y acortando la vida útil del medidor por lo que se presta una atención especial a este problema.

CAPITULO I

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

CAPITULO I

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En la actualidad el consumo de agua potable en nuestro país es impresionante y cada vez aumenta la demanda de agua 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 alimenticias y de aseo personal y el agua tratada y reciclada para otras aplicaciones en las que no es primordial la potabilidad, como el agua para riego y en usos industriales o de saneamiento, ya que al transcurrir los años la demanda de agua aumentará. Por ello la Ingeniería Ambiental está experimentando con agua residual tratando de desdoblarse la materia biológica nociva que contiene mediante bacterias anaerobias que se alimentan de los desechos suspendidos en el agua.

Por otro lado, esta degradación de materia orgánica en el agua, desprende gas metano que tiene entre otras, la propiedad de ser combustible, dándonos la oportunidad de un camino energético renovable alternativo al petróleo, con las ventajas que esto significa en el presente.

Este proceso, en el cual se degrada la materia orgánica de desecho empleando bacterias anaerobias, lo conocemos como digestión anaerobia y recibe su nombre por no necesitar del oxígeno para llevar a cabo sus funciones metabólicas, consecuentemente requiere una baja inversión económica en su alimentación.

Debido a que los procesos aerobios requieren oxígeno y los anaerobios no y considerando que los microorganismos son los responsables de llevar a cabo el proceso biológico, la digestión anaerobia es una alternativa para generar combustibles partiendo de material renovable en forma confiable y económica, ya que el proceso de obtención es estable y requiere muy bajo mantenimiento.

El objetivo de este trabajo es implementar un método confiable para cuantificar la velocidad de producción del metano en un reactor^[3], permitiendo a los investigadores de estos digestores una herramienta fundamental con la cual podrán obtener criterios más certeros sobre el comportamiento del reactor en función a cada una de sus variables como la temperatura, el tiempo, la incidencia de luz, etc.

³ Reactor: Es el depósito donde se encuentran los microorganismos con la materia orgánica de desecho.

En el laboratorio se experimenta con diferentes tipos de materia orgánica, particularmente agua residual para después hacerlo a nivel piloto en algunos sitios específicos y por medio de los resultados obtenidos en los trabajos de investigación apoyar a los sectores público y privado para poder asimilar y difundir la tecnología anaerobia para el tratamiento del material biodegradable y aprovechamiento de las aguas residuales como fuente de energía en México.

Por todo esto se aprecia el valor que significa para el investigador de estos procesos el empleo de sistemas medidores de alta precisión.

La primera problemática a la que nos enfrentamos es la de definir las propiedades preliminares del medidor partiendo de la descripción anterior del proceso anaerobio.

En adelante nos interesará poder materializar la solución fabricando un prototipo de medidor que armonice la eficiencia con el costo, buscando dar una solución sin generar otros problemas.

Por último, nos interesa poder hacer mediciones cuyo valor de incertidumbre sea menor al 3 %, aunque es aceptable una

incertidumbre de hasta $\pm 5\%$.

En síntesis, el flujo de gas que necesitamos cuantificar es metano (CH_4) ligeramente contaminado por vapores de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio básicamente, lo que lo vuelve una mezcla de gas corrosiva. La temperatura de este proceso es de 37°C aproximadamente, lo que incrementa la actividad química del gas.

Este aspecto determina que todas las partes que se exponen al flujo del gas deben ser lo suficientemente inertes para mantenerse sin reaccionar ni deformarse.

La sensibilidad del medidor a las variaciones de temperatura no es crítica, debido a que todo el sistema de medición y el reactor generador de gas se instala en una cámara con temperatura constante. Sin embargo, parte de la experimentación consiste en evaluar el comportamiento del reactor a distintas temperaturas.

Otra propiedad importante que debe tener el medidor es que sea no invasivo, es decir, que no altere en forma importante alguna de las características del sistema medido. Una de las propiedades que más fácilmente podría alterarse es la presión.

Existen medidores que ofrecen cierta resistencia a la entrada del gas, consecuentemente la presión se sube y el gas se comprime.

Si este fenómeno es repetitivo no representa ningún problema ya que es posible calcularlo y corregirlo al calibrar, pero en caso contrario, cuando es no repetitivo, significa un incremento en la incertidumbre del resultado.

Con la finalidad de obtener un diseño sencillo y equilibrado hemos considerado enfocar el proyecto a un dispositivo compacto tomando en cuenta varios factores que influyen determinantemente en la construcción, como es la atmósfera en la cámara en la que se instalará, ya que se trata de un lugar húmedo, caliente y con agentes corrosivos.

Por esto, la selección de materiales internos y externos, recubrimientos, aislantes, posición y distribución de cada uno de los elementos es de gran importancia para lograr un buen diseño y obtener un dispositivo de medición con alta eficiencia, duración y bajo mantenimiento.

Este dispositivo es utilizado en laboratorios en donde el suministro de energía eléctrica es altamente confiable, pero

previando alguna suspensión repentina de energía, el aparato cuenta con controles para iniciar un nuevo conteo e indicadores que le permiten al usuario saber si el suministro eléctrico fue continuo o no.

En síntesis, requerimos un dispositivo que sea capaz de medir el flujo de gas metano que se genera en el reactor considerando que este gas viene acompañado de agentes corrosivos, que la temperatura a la que se va a encontrar el equipo es superior a la del ambiente y que la resistencia al paso del gas debe de ser mínima para evitar que la compresión del gas a la entrada sea significativa, ya que al comprimirse el gas cambia el volumen entre la entrada y la salida del medidor y nuestra lectura incrementaría el porcentaje de error.

La velocidad del flujo de gas, aunque no es exactamente conocida porque cambia con las características de cada reactor, es muy baja, es decir, en todos los casos es inferior a 1 litro por hora. Por estas razones elegimos como principio de medición un sistema de desplazamiento positivo y en este caso específico utilizando un dispositivo de pistones líquidos comunicados. La calibración del equipo debe ser sencilla y permanente, es decir, que una vez determinada se mantenga constante a lo largo del tiempo.

Al conjugar todos estos elementos buscamos diseñar un sistema confiable, de bajo mantenimiento y de operación sencilla. A lo largo del trabajo se describen algunos métodos generales para medir la velocidad y el gasto en los fluidos y más adelante en forma detallada las características de cada sección del medidor.

CAPITULO II

ALGUNOS METODOS PARA LA EVALUACION DE GASTO

CAPITULO II

ALGUNOS METODOS PARA LA EVALUACION DE GASTO.

Existe una gran cantidad de formas para medir flujo y que dependen de la magnitud de las variables involucradas como son la velocidad, la presión, la temperatura y la actividad química entre otras. En este capítulo se mencionan algunos de los métodos más utilizados para medir el flujo de gas, empezando por los que pueden medir flujos rápidos hasta llegar a describir los que pueden captar flujos lentos.

En forma general se puede encontrar la velocidad si se mide el tiempo que transcurre cuando una partícula identificable recorre una distancia conocida.

El flujo puede ser medido como cualquier cantidad volumétrica o una velocidad instantánea. Esto es normalmente conocido como porcentaje de flujo o gasto. Podemos medir el gasto de un fluido si contabilizamos el tiempo en que un cierto volumen es desplazado. Para lograrlo requerimos hacer la medición de tiempo y la de volumen. Recordando que el gasto lo expresamos en unidades de volumen entre tiempo.

Del mismo modo si medimos la velocidad de un fluido con flujo laminar dentro de una tubería y conocemos el área de la sección perpendicular podemos obtener el gasto si multiplicamos la velocidad por el área.

$$\text{Gasto} = V \cdot A \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

donde:

V = Velocidad expresado en m/s.

A = Area de la sección transversal en m².

Existen varios métodos para la evaluación del gasto. A continuación mencionamos algunas formas de hacerlo sin que ello signifique que se adapten a la solución de nuestro problema.

Algunos de los medidores que se consideran electrónicos son el medidor magnético de flujo, el detector ultrasónico y el detector por conductividad térmica. Dentro de los medidores con elementos mecánicos móviles tenemos por deflexión, los de rotación como el anemómetro de copas o aspas y el de turbina, y los de desplazamiento positivo que también se les considera métodos volumétricos, como los de diafragma y de pistón líquido.

Existen también métodos indirectos para medir gastos. Suelen

requerir la determinación de carga manométrica, diferencia de presiones o la velocidad en varios puntos de una sección transversal para que después, con base en estos datos, se calcule el gasto buscado.

A continuación mencionamos brevemente los métodos anteriores, empezando por el medidor electromagnético que está basado en la ley de Faraday de inducción electromagnética y que se muestra gráficamente en la siguiente figura.

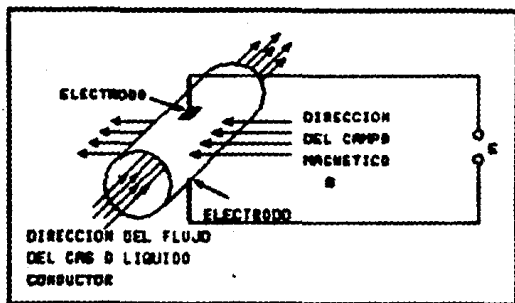


Fig. 1.- Principio de operación del medidor de flujo magnético.

La ley de Faraday establece que si un conductor eléctrico es movido dentro de un campo magnético se induce una fuerza electromotriz en dicho conductor cuya amplitud depende de la

intensidad del campo magnético, la velocidad del movimiento y la longitud del mencionado conductor.

La dirección de la fuerza electromotriz con respecto al movimiento y al campo magnético esta dada por la regla de la mano derecha de Fleming.

El conductor eléctrico puede estar constituido por un gas conductor en el cual también se cumple la ley de Faraday, la diferencia de potencial es proporcional a la fuerza del campo magnético, la velocidad axial dentro del tubo y la distancia entre los electrodos.

En el detector ultrasónico se utiliza la transmisión de ondas sonoras en frecuencias superiores a las audibles. Estas señales ultrasónicas pueden pasar fácilmente a través de paredes de cualquier material prácticamente. Esto significa que un sistema de medición o detección puede ser montado en forma completamente externa al fluido, es decir, es no-invasivo. Esto es de suma importancia cuando se trabaja con fluidos hostiles, que son aquellos que tienen propiedades corrosivas, radioactivas, explosivas o inflamables. No existe en este caso la posibilidad de bloqueo de la señal por fluidos sucios que obstruyan o degraden al transductor.

A diferencia de las ondas electromagnéticas las vibraciones mecánicas requieren de un medio físico para permitir la propagación de la onda. A excepción de lo anterior, estos dos tipos de ondas tienen mucho en común: pueden ser reflejadas y refractadas por interfaces entre diferentes sustancias, es posible enfocarlas y su energía es disipada por las sustancias del medio de propagación.

En un sistema ultrasónico se cuenta con un transmisor, un receptor y un medio en el cual se propaguen las ondas. El medidor de flujo ultrasónico de efecto Doppler es utilizado frecuentemente para medir la velocidad de flujo sucio que atraviesa por un ducto empleando un transductor que radia ondas ultrasónicas sobre el flujo. Esta onda se refleja en un objeto móvil respecto al emisor, existiendo un cambio en la frecuencia que llega al receptor. Este cambio en la frecuencia es proporcional a la velocidad relativa emisor-receptor del fluido.

Como reflector pueden actuar todas las sustancias que tengan impedancia acústica diferente a la del flujo, por ejemplo, pequeñas partículas sólidas o burbujas en suspensión en un fluido en movimiento están en la posibilidad de reflejar la señal.

La señal reflejada es detectada por un cristal receptor. Para

medir la velocidad se debe considerar la frecuencia emitida, la frecuencia recibida, la velocidad del sonido en el flujo y el ángulo relativo entre la velocidad y la dirección de propagación. Haciendo todas estas consideraciones se puede llegar a una expresión en la cual la diferencia entre las frecuencias transmitidas y recibidas sea directamente proporcional a la velocidad de flujo.

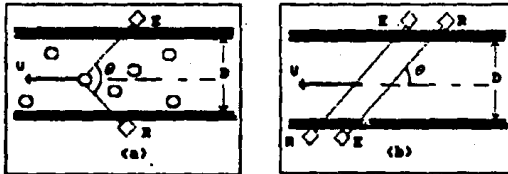


Fig. 2.- Principio de funcionamiento del medidor ultrasónico

- a) De efecto Doppler
- b) De tiempo de tránsito.

Para el estudio de medios homogéneos o flujos limpios (sin reflectores) se dispone de modelos basados en la variación del tiempo de tránsito de la radiación entre emisor y receptor según se propague en favor o en contradi dirección respecto al flujo, como se observa en la figura 2.b. Si el transductor E₁ actúa como emisor y el transductor R₂ como receptor el tiempo que tarda la

radiación en alcanzar el receptor depende de la distancia entre las paredes del recipiente (D), de la velocidad de propagación de la radiación (sonido), de la inclinación de la onda de emisor a receptor y de la velocidad del flujo (V).

Una alternativa, basada en el mismo principio, consiste en disponer un sistema autooscilante en el que un emisor emite un pulso cuando su receptor asociado recibe el impulso de radiación emitido previamente. Con dos pares de emisor y receptor, uno emitiendo a favor y otro en contra del flujo, o bien con un solo par de transductores recíprocos, la diferencia de frecuencia de repetición de pulsos es la frecuencia del emisor uno menos la del emisor dos.

Otro método interesante para medir el flujo es el anemómetro de hilo caliente. Su principio operativo consiste en colocar dentro del gas una resistencia eléctrica, generalmente se trata de un alambre delgado de platino, que se calienta eléctricamente. La temperatura de este alambre es función del enfriamiento debido al flujo del gas alrededor de él y el valor de la resistencia eléctrica es función de la temperatura. La resistencia se ve afectada por la disipación térmica de esta hacia el gas y que depende básicamente de la composición química de este ya que determina el calor específico y su velocidad. Por lo tanto, la

resistencia eléctrica es función de la velocidad siempre que no se altere el tipo de gas.

Sensores consistentes en películas muy delgadas de ciertos metales con una capa de protección se emplean comúnmente en el caso de gases homogéneos y con características químicas bien definidas y se han adaptado también para medir las velocidades en líquidos.

El método está bien establecido para la medición de velocidades bajas de aire en el orden de 0.1 m/s. Las variaciones en la temperatura del aire tiene poca importancia si la temperatura del alambre es apreciablemente más alta que la del aire ambiente.

Los medidores de hilo caliente se utilizan ampliamente en mediciones de transitorios, especialmente cuando se miden fluctuaciones debidas a la turbulencia. Se pueden obtener constantes de tiempo del orden de 1 milisegundo con alambres de platino o tungsteno de 0.0001 de pulgada de diámetro operando en el aire.

Una modificación del método de hilo caliente consiste de un pequeño cilindro cubierto con una película metálica delgada de

algunas micras de espesor. Esta película es la resistencia variable y es extremadamente sensible a las fluctuaciones de velocidad del gas.

Un dispositivo para medir el flujo de aire con bajos porcentajes de error usa dos termómetros de calentamiento resistivo localizados dentro de un tubo o enrollados alrededor de la superficie exterior. Sin flujo la distribución de temperatura guarda simetría con respecto a los calentadores. Cuando el flujo de gas tiende a enfriar el primer calentador el mismo gas se calienta en el proceso. Este gas caliente tratará de enfriar el segundo calentador pero lo hará en proporción menor al primero presentándose una condición de desbalanceo.

Dentro de los medidores mecánicos con elementos giratorios tenemos los de aspa o hélice. En su forma simple consisten de una hélice ligera la cual gira dentro de una cámara circular de material inoxidable y durable, lo que permite soportar corrosión u otras formas de desgaste en la superficie. El flujo pasa a través de esta sección causando que la hélice gire de acuerdo a la velocidad y densidad del gas.

Un vástago perpendicular al aspa mueve un tren de engranes, el cual a su vez va conectado a un contador el cual se encarga

de integrar cada vuelta de la hélice dando una lectura precisa.

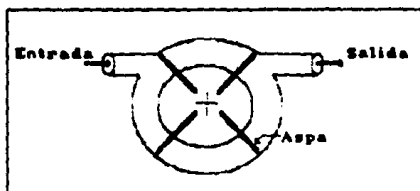


Fig. 3.- Medidor del tipo de aspa o hélice.

Hay que hacer notar que si la superficie de la cámara o las aspas sufren desgaste se ocasionarían pérdidas por deslizamiento de flujo lo que alteraría la medición del volumen real. Por esta razón cuando se diseña este tipo de medidores se tiene cuidado en la selección del material para que sea resistente a todos los agentes agresivos en el ambiente de trabajo que se utilicen.

En el anemómetro de copas o aspas tenemos el impulsor rotativo. Este tipo de aparato se utiliza para medir flujo de aceite o de gas a alta presión en tubería mediante un medidor giratorio en el cual una serie de copas o paletas que pasan por una abertura anular y desplazan determinado volumen por cada revolución. Se pueden arreglar rotores radiales o axiales de tal manera que el volumen en un flujo continuo a través de

ellos quede determinado por las rotaciones de una flecha.

Este medidor podría ser descrito como una bomba de engranes de 2 dientes y es usualmente manufacturado casi enteramente de una pieza de acero fundido, u otro material según sea la aplicación.

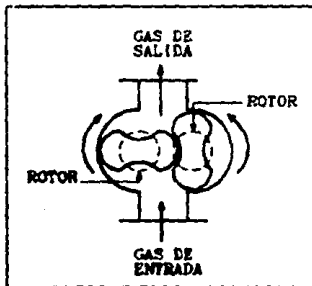


Fig. 4.- Medidor llamado aambestre de copes o sepes.

El medidor consiste básicamente de dos propulsores alojados en una caja y soportados por unos cojinetes que permiten la rotación. Un espacio muerto de unos cuantos milésimos de pulgada entre el propulsor y la caja evitan su desgaste, con el resultado que la calibración del medidor permanece constante durante toda su vida. Los propulsores están sincronizados en su movimiento por medio de engranes adecuados a una o ambas terminales del eje

del propulsor.

La rotación en los propulsores se debe al decremento en la presión a la salida del flujo de gas. Cada vez que un propulsor pasa por la posición vertical se atrapa una bolsa de gas entre el propulsor y la caja. Por lo tanto cuatro bolsas de gas son atrapadas y expulsadas por cada revolución completa del índice del eje. La rotación de los propulsores es transmitida hacia el contador medidor por un engranaje conveniente de tal manera que el contador lee directamente el gasto en metros cúbicos o pies cúbicos.

En el medidor de turbina se tiene un rodete que consta de una serie de álabes rígidamente colocados en una flecha. En la teoría, en las turbinas se desprecia la fricción y se supone que el fluido escurre perfectamente a través de la máquina.

Los medidores del tipo de turbina trabajan sobre el principio de momento. Este tipo de medidor consiste de un rotor prácticamente libre de fricción a lo largo de un eje. La velocidad de rotación de la turbina es proporcional a la velocidad del fluido. Dado que el área de flujo del medidor se fija, la rapidez rotacional es proporcional a la cantidad de flujo volumétrico.

En un tipo de medidor de turbina se tiene que cuando el flujo cruza a través del medidor causa una rotación de la turbina. En el cuerpo del rotor de una turbina se localiza un imán permanente de tal forma que gira con ésta. En el tope del medidor se encuentra fijo un captador magnético, el cual detecta un pulso por cada revolución de la turbina. De esta forma el gasto volumétrico es proporcional al número de revoluciones del rotor y el total de pulsos puede considerarse como una indicación del gasto total. La frecuencia de los pulsos es proporcional a la velocidad del fluido. La respuesta transitoria del medidor es muy buena.

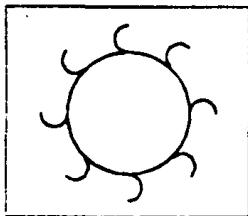


Fig. 5.- Sistema de álabes en un medidor de turbina.

Este sistema es utilizado generalmente en flujos con velocidades altas para lograr el movimiento de los álabes en forma consecutiva, no lográndose esto en velocidades bajas, ya que sólo se obtendría una ligera deflexión del álabes el cual, debido a la fricción, podría dar un retroceso lo que daría una lectura

errónea. Hay que considerar el tamaño y material del álabe para evitar este problema.

Dentro de los medidores de desplazamiento positivo se encuentra el tipo de medidor de diafragma. El principio de operación de éste dispositivo es parecido al de los pulmones, los que se llenan con una cierta cantidad de gas dependiendo de su tamaño y se contraen al expulsario, o el de un globo, que al inflarse a su límite máximo sólo da cabida a un determinado volumen de gas.

En su forma mecánica, este tipo de aparato generalmente consta de una caja metálica que tiene una sección superior e inferior. La sección inferior consiste de cuatro cámaras, dos de las cuales son encerradas por diafragmas flexibles que se expanden y contraen según sean cargadas y descargadas con el gas que está siendo medido.

La sección superior consta de dos orificios, uno como entrada y otro como salida. A su vez, dentro de esta misma sección, se encuentran cuatro orificios más que conectan directamente a la parte inferior y mediante una válvula se controla la entrada y salida del gas de determinado diafragma.

La lectura mecánica es obtenida cuando un vástago perpendicular al diafragma hace girar un tren de engranes por la acción del diafragma en cada descarga de gas con volumen conocido. E tren a su vez opera al contador. Este tipo de medidor es de gran precisión y prácticamente libre de problemas. Cuando son nuevos o se encuentran en buenas condiciones tienen precisiones hasta del 1 %. Sin embargo, cuando se encuentran gastados por el uso excesivo pueden dar lugar a errores muy grandes, sobre todo si el gasto es pequeño.

El medidor de tambor de sello líquido o pistón líquido difiere del medidor de diafragma en que el medio de sellado para las cámaras de medición no es sólido sino agua o algún otro líquido adecuado.

Un tipo de medidor de gas de tambor de sello líquido consiste de una cámara externa de placas de latón estañado o de láminas de acero que contienen una porción rotatoria. Esta parte rotatoria consiste de particiones moldeadas formando cuatro cámaras internas de medición, todo balanceado alrededor de un eje central que permite la libre rotación. El gas se introduce por un orificio que esta cerca del centro y sale hacia el exterior por un conducto en la parte superior de la caja externa. Las cámaras de medición están selladas por un líquido a un nivel

cercano a la línea central. El nivel del líquido es tal que cuando una cámara llega a ser abierta del lado de salida, la partición entre ésta y la próxima cámara sea sellada del lado de entrada. Entonces, durante el curso de una rotación, cada cámara medidora obtiene un volumen de gas desde la entrada hasta la salida del instrumento. El volumen actual obtenido depende del tamaño de la cámara y del nivel del líquido en el instrumento. Por lo tanto, el nivel del líquido es crítico y es mantenido en su valor correcto por medio de un indicador de nivel.

Cuando una cámara conectada con la entrada se llena de gas y se sella existe una mayor presión en el lado de entrada que en el de la salida, produciendo una fuerza que mueve la cámara en forma circular.

Este movimiento continuará hasta que la cámara, que está sellada desde el conducto de entrada, sea abierta por el lado de salida, mientras que al mismo tiempo otra cámara es abierta por el lado de entrada pero sellada del lado de salida. Esto produce una rotación continua. El giro acciona un contador que indica la rotación y puede ser calibrado en las unidades de volumen requeridas. El perno entre el rotor y el contador es usualmente de latón y pasa a través de un collarín engrasado. La fricción de este collarín junto con la fricción en los engranes del

contador determinará la caída de presión a través del medidor, la cual es casi independiente de la velocidad de rotación. Esta fricción debe ser mantenida tan baja como sea posible, ya que si existe una gran diferencia de presión entre los lados de entrada y salida del medidor, el nivel de agua en las cámaras de medición será forzado a disminuir causando errores en el volumen obtenido y para gamas bajas de fluido el medidor rotará en forma irregular.

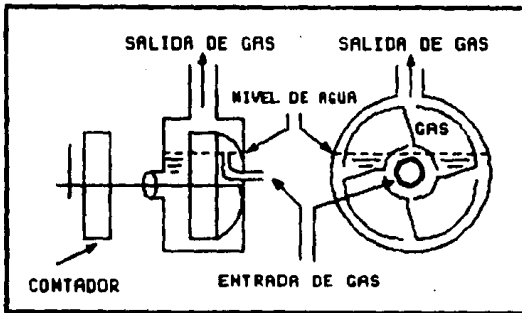


Fig. 6.- Medidor del tipo de sello líquido.

Es muy difícil producir particiones de tal forma que las mediciones obtenidas sean cantidades exactas para fracciones de una rotación. Consecuentemente el medidor es solo aproximado cuando se involucran fracciones de rotación. La masa de gas

obtenida depende de la presión y temperatura del gas que pasa a través del medidor. El volumen de gas es medido a la presión de entrada del medidor. Entonces, si la temperatura y densidad de gas para presión constante son conocidas no es difícil calcular la masa del gas medido. Debe tomarse en cuenta al encontrar la presión parcial del gas, que éste se saturará con vapor de agua cuando ese sea el líquido en el medidor. La acción de un juego de válvulas hace que el compartimiento se desplace hasta el extremo opuesto de la cámara. Las oscilaciones del compartimiento operan un mecanismo de conteo.

En muchos instrumentos empleados para determinar la velocidad de una corriente o el gasto transportado por ella, es necesario medir la presión y la velocidad. El principio que generalmente se usa en dichos instrumentos de medida es el siguiente: la rapidez del fluido aumenta en un tubo que tenga un estrangulamiento; la ecuación de Bernoulli demuestra que la presión debe disminuir en esa sección.

Dentro de medidores que se basan en este principio se encuentra el de tipo venturi que mide el flujo por medio de una presión diferencial dentro de un tubo con una columna de agua u otro líquido con peso específico distinto. Esta presión diferencial es inducida al establecer una obstrucción en el flujo

que, para el caso del tubo venturi, tiene que ser laminar aunque hay medidores diseñados para alto número de Reynolds⁽⁴⁾.

El medidor de Venturi es un dispositivo calibrado colocado en una tubería para medir la rapidez de flujo de un líquido en función de una presión diferencial. Un líquido de densidad ρ fluye a través de la tubería, considerando el área de la sección recta.

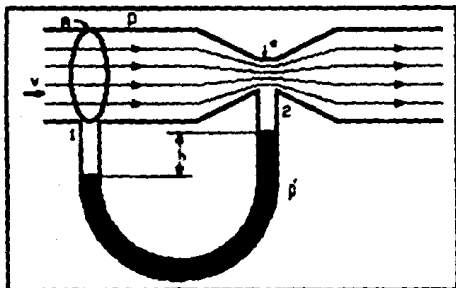


Fig. 7.- Medidor de Venturi para medir la rapidez del flujo.

En la garganta esta área se reduce y ahí se fija un tubo manométrico. Suponiendo que el líquido manométrico es mercurio se tiene que considerar su densidad y aplicar la ecuación de Bernoulli en los puntos 1 y 2 para encontrar la rapidez del flujo

⁴ Número de Reynolds: Es un importante parámetro adimensional en la mecánica de fluidos, en el cual su magnitud determina la naturaleza del escurrimiento.

en A.

La ecuación de Bernoulli es una relación fundamental de la mecánica de los fluidos y se aplica estrictamente sólo al flujo estacionario⁵¹ ya que las cantidades que intervienen en ella están evaluadas a lo largo de una línea de corriente. La ecuación de Bernoulli puede usarse para determinar las velocidades de un fluido, valiéndose de las medidas de su presión.

$$\frac{Z_1 - Z_2}{\rho} + \frac{P_1 - P_2}{2g} + V_1^2 - V_2^2 = 0$$

La ecuación anterior tiene las dimensiones (m/s²) o (ft/seg²).

P= Presión absoluta	N/m ² (o Pa)	lb _f /ft ²
ρ= densidad	kg/m ³	lb _m /ft ³
V= Velocidad	m/s	ft/seg
Z= elevación	m	ft
g= aceleración debida a la gravedad.	9.807 m/s ²	32.17 ft/seg ²

Bajo ciertas condiciones, se puede eliminar un término de la ecuación de Bernoulli. Por ejemplo, en el flujo de gases donde el cambio de presión sea sólo una fracción pequeña (un porcentaje

⁵¹flujo estacionario: Cuando la velocidad del fluido v en cualquier punto no varía con el tiempo.

bajo) de la presión absoluta como en un sistema de ventilación, se considera que el gas es incompresible. Entonces se considera un peso específico promedio. La ecuación de Bernoulli se puede emplear en el análisis de flujos reales en que primero no se tienen en cuenta los esfuerzos viscosos con objeto de obtener resultados teóricos. La ecuación resultante se modifica después, mediante algún coeficiente obtenido en forma experimental, para corregir la ecuación teórica de manera tal que concuerde con el caso físico real.

Otro aparato que nos sirve para medir la rapidez de un fluido es el Tubo de Pitot que se muestra en la siguiente figura.

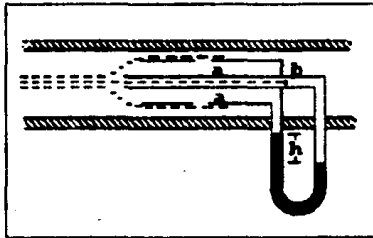


Fig. 8.- Diagrama de un Tubo de Pitot.

Supongamos que fluye gas por las aberturas en a. Estas aberturas son perpendiculares a la dirección del flujo y están

situadas en posición periférica equidistante a ocho diámetros lo suficientemente lejos como para que la velocidad y la presión fuera de ellas tengan los valores del flujo libre.

Por lo tanto, la presión en el brazo izquierdo del manómetro, que está conectado a estas aberturas, es la presión estática, de la corriente de gas. La abertura del brazo derecho del manómetro es perpendicular a la corriente. La velocidad se reduce a cero en el punto b y el gas se estanca en ese sitio. La presión en b es la presión total del empuje al aplicar la ecuación de Bernoulli en los puntos a y b se puede determinar la rapidez del gas.

CAPITULO III

DISEÑO DEL MEDIDOR DE GAS

Como se mencionó, si no existe fuga de gas a través del pistón, prácticamente la exactitud del sistema está determinada por su capacidad para repetir el ciclo con el mismo volumen desplazado cada vez y esto es posible si logramos detectar los límites de carrera del pistón con alta precisión. Un método confiable para lograrlo es utilizando detectores de nivel electrónicos que en complemento con un circuito lógico controla la posición de las válvulas de entrada y salida y registra el número de ciclos.

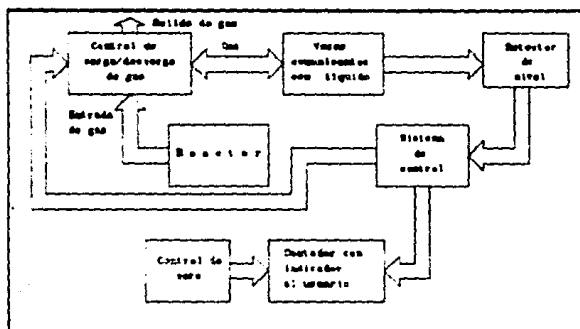


Fig. 9.- Esquema general de medición.

Como se muestra en el diagrama de bloques el sistema completo de medición de gasto está integrado por un dispositivo que pueda informarnos sobre el nivel de líquido en los vasos comunicantes,

un circuito que maneje esta señal y controle mediante válvulas electromagnéticas la entrada y salida de gas; y un contador con control de cero para registrar el número de descargas. Además se requiere una fuente de poder para energizar al sistema.

En adelante, se describen y explican cada una de éstas etapas del medidor de gasto.

III.1.- CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS PERIFERICOS.

Existe una gran variedad de sistemas que pueden medir las variables que queremos conocer, tales como la altura del líquido en determinado momento, los dispositivos encargados de controlar el acceso de gas y también los de despliegue de datos; recopilando información sobre éstos sistemas describimos a continuación algunas de sus características principales y que consideramos preciso y económico para nuestro diseño.

III.1.1.- Detectores de Nivel.

Para sensar continuamente el nivel de líquido en un recipiente generalmente se utilizan detectores por conductividad. La conductividad electrolítica a estado en uso por algunos años y ha dado un servicio seguro. Generalmente se utilizan dos tipos

de detectores de nivel electrónicos, los detectores capacitivos y los conductivos.

a) Detectores capacitivos :

Una de las aplicaciones más frecuentes además de la medida de desplazamiento, es la medida de nivel de líquidos conductores y no conductores (aceite, gasolina). Para medir la variación de nivel en un recipiente, depende de la variación del área entre los electrodos en un líquido conductor.

El recipiente metálico o electrodos deben conectarse a tierra para evitar el peligro de las descargas eléctricas y el efecto de las capacitancias parásitas en líquidos inflamables. Se mide la capacitancia del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque, la capacitancia del conjunto depende linealmente del nivel del líquido.

En fluidos no conductores se emplea un electrodo y la capacitancia total del sistema se determina por el dielectrico del líquido, del gas superior y de las conexiones superiores.

En otros sistemas se provee de un segundo electrodo de referencia completamente cubierto por el líquido o material a

medir y compensar cambios en la constante dieléctrica o resistividad. Uno de los electrodos puede ser suspendido de la parte superior del tanque para que descienda y detectar el nivel superior del líquido lograndose un cambio de nivel de diferentes límites alto y bajo.

En fluidos conductores el electrodo está aislado, usualmente con teflón, interviniendo en el valor de la capacitancia, la constante dieléctrica del material aislante, el aire y el líquido cuando los electrodos mantengan constantes sus dimensiones y su distancia.

Para la medición se utiliza un circuito electrónico puente de capacitancia, éste alimenta al electrodo a una frecuencia elevada, lo cual disminuye la reactancia capacitiva del conjunto y permite aliviar en parte el inconveniente del posible recubrimiento del electrodo por el producto. La capacitancia de la prueba puede ser leída preferiblemente por un circuito que convierta la capacitancia lineal a una señal analógica o digital.

El sistema es sencillo y apto para muchas clases de líquidos. Sin embargo, hay que señalar que en los fluidos conductores, los sólidos o líquidos conductores que se encuentran en suspensión o en emulsión y las burbujas de aire o de vapor

existentes, en otras palabras, todas las impurezas, aumentan y disminuyen la constante dieléctrica del fluido dando lugar a un error usual de un 3% del desplazamiento volumétrico. Por otro lado, al bajar el nivel, la porción aislante del electrodo puede quedar recubierta de líquido y la capacitancia adicional que ello representa da lugar a un error considerable.

Los transductores de capacitancia se caracterizan por no tener partes móviles, son ligeros, presentan una buena resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza. Su campo de medida es prácticamente ilimitado y operan sobre un amplio rango de temperaturas y presiones, estos sensores pueden medir entre materiales conductivos o dieléctricos (aislantes) y pueden detectar materiales con constantes dieléctricas tan bajas como 1.5. Tienen el inconveniente de que la temperatura puede afectar las constantes dieléctricas y de que los posibles contaminantes contenidos en el líquido pueden adherirse al electrodo variando su capacitancia y falseando la lectura en particular, en el caso de líquidos conductores requieren de ajustes de sensibilidad, los cuales son experimentalmente establecidos para las condiciones del usuario.

b) Detectores de nivel conductivos :

En nuestro caso es posible emplear detectores de nivel de tipo conductivo debido a que es agua con ácido sulfúrico y cloruro de sodio con excelentes propiedades conductoras. Estos detectores se basan en medir la cantidad de corriente que circula a través de dos electrodos cuando están dentro o fuera de un líquido conductor.

Cuando los electrodos se encuentran en el aire podemos decir que la corriente que circula es cero; sin embargo, al sumergirlos en el líquido existe un cambio repentino en el nivel de conductividad y a medida que los electrodos se sumergen más, se incrementa el área de contacto entre los electrodos y el líquido, mejorando proporcionalmente la conductividad.

El electrodo de conductividad electrolítica a estado en uso por algunos años y ha dado un servicio seguro usando amplificadores de corriente en las unidades electrónicas asociadas. El dispositivo es extremadamente simple y consiste en dos varillas rígidas montadas sobre un soporte aislado por encima del líquido cuando el líquido las toca, circula una pequeña corriente que se amplifica por medio de dispositivos electrónicos para accionar relevadores, válvulas o algún otro

dispositivo adecuado.

Dependiendo que tan conductor sea el líquido a detectar, requerimos determinar la sensibilidad del amplificador de corriente, considerando que mientras menor sea la corriente que circule por el líquido, menor es la oxidación en los electrodos por efectos de electrólisis. Y si además, la corriente de polarización es de alterna prácticamente se elimina este problema.

1) Electrodos.

Los electrodos pueden definirse simplemente como los puntos de contacto entre las líneas eléctricas y el líquido a detectar.

Como se mencionó en el inciso anterior estas líneas eléctricas provienen de la entrada del amplificador de corriente y de una fuente excitadora, que produce la tensión suficiente para hacer circular una corriente eléctrica a través del agua adicionada de iones.

Al circular esta corriente eléctrica desplaza iones en el líquido y los deposita en los electrodos, por esto, si la corriente se reduce, disminuimos también la transferencia de

materia y por lo tanto, la oxidación en los electrodos. En el caso de tensiones de polarización de alterna, la transferencia de materia no se realiza debido a que existe un continuo cambio en la dirección.

Por otra parte, cada elemento químico tiene diferente capacidad para combinarse con otros, y si seleccionamos un material prácticamente neutro para recubrir los electrodos, éstos tendrán una duración mayor al no reaccionar con el contenido ácido en el líquido.

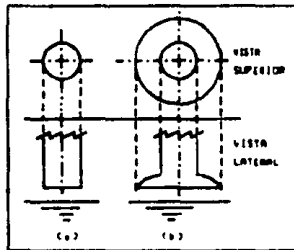


Fig. 10.- Formas típicas de electrodos detectores de nivel.

- a) Cilindro simple.
- b) Cilindro con base agrandada.

Este fenómeno es doblemente importante. Por una parte, si el electrodo no reacciona, mantiene su geometría constante y el

equipo no pierde la calibración; y por la otra, en caso de reaccionar se generarían sustancias residuales que se combinarían con el gas que medimos, contaminándolo.

Otro aspecto a considerar es la forma de los electrodos, debido a que debemos mejorar en lo posible la conductividad entre el líquido y el electrodo.

El platino es un material adecuado en ésta aplicación pero muy costoso. Una alternativa es el acero inoxidable de alta calidad y es el que utilizamos.

En cuanto a su forma, consideramos que sean lisos para facilitar su limpieza y dada la aplicación en que nos interesa registran únicamente el punto en que el líquido toca al electrodo y no nos interesa continuar registrando resistencia en forma lineal, debemos enfatizar el punto de contacto en el que el líquido moja al electrodo. Esto lo logramos si la forma del electrodo es un cilindro con el área en la base relativamente grande como se muestra en la fig. 10b.

III.1.2.- Dispositivos de Salida.

Dentro del circuito electrónico consideramos a la última etapa como dispositivos de salida, formada por el contador de pulsos y la válvula solenoide.

Estos dispositivos se encuentran en la parte externa del aparato, la válvula nos permite tener el control sobre el flujo de gas y el contador es el dispositivo que capta la señal eléctrica y se encarga de desplegar los resultados.

a) Válvulas:

Las válvulas a las que nos referimos en este inciso son llaves que permiten o no el paso de un gas cuando reciben o no una señal eléctrica.

Existen varios tipos de éstas válvulas, pero en todos los casos el principio de operación es similar y consiste en una bobina que al energizarse por una corriente eléctrica, el campo magnético que en ella se genera, desplaza un núcleo móvil que invierte su funcionamiento. Este principio de operación es similar al de los relevadores eléctricos con la diferencia de que en ellos se abren y cierran contactos eléctricos y en las

válvulas se trata de controlar un flujo neumático o hidráulico.

La bobina que produce el campo magnético en casi todas las válvulas puede seleccionarse según la magnitud de la tensión de excitación y el tipo de corriente, los valores más comunes son 6, 12, 24, 48, 100, 120 y 240 volts y existen para corriente directa y alterna.

Cuando las válvulas son de baja capacidad de flujo, la bobina es relativamente pequeña, sin embargo, en válvulas grandes se requieren bobinas de mayor magnitud, que además de que consumen una potencia importante, disipan una considerable cantidad de calor, calentándose a sí misma y al fluido que circula por ella. Esta condición es indeseable, por lo que es común encontrar válvulas con dos bobinas concéntricas.

Una de ellas es robusta, consume una gran cantidad de energía y tiene la fuerza necesaria para cambiar de posición al núcleo dentro la válvula, la otra de menor potencia no es capaz de lograr este movimiento pero si de retener el núcleo una vez que está en la posición final de su carrera.

Cuando requerimos que la válvula se energice, las dos bobinas son alimentadas simultáneamente, pasando un breve lapso de tiempo

(0.1 a 1 seg) se libera de energía a la bobina robusta y se mantiene energizada la segunda bobina, así la temperatura en la válvula se mantiene baja y su consumo eléctrico también.

Cuando la bobina no se energiza, el núcleo "regresa" a la posición de reposo por medio de un resorte. Por el contrario, al energizar la bobina, el núcleo comprime al resorte deslizando al otro extremo.

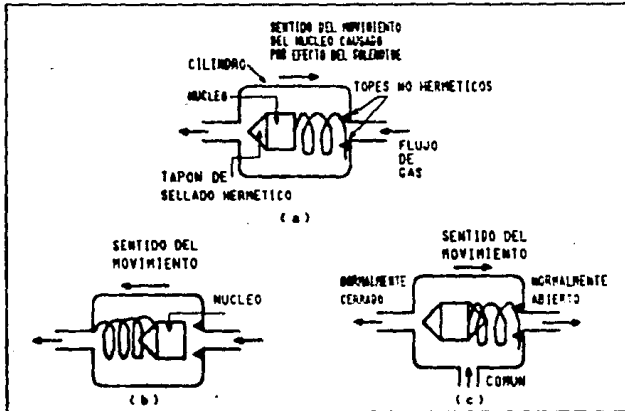


Fig. 11.- Tipos de Válvulas:

- a) Normalmente Cerrada
- b) Normalmente Abierta
- c) De tres perforaciones

La otra sección de la válvula, por donde circula el gas, consiste en una cámara cilíndrica con dos o tres perforaciones por donde puede fluir el gas. En su interior, el núcleo se desplaza por medio del campo magnético de un extremo a otro en el sentido axial del cilindro.

Cuando las válvulas tienen dos perforaciones únicamente permiten o no el flujo de gas y existen los tipos normalmente abierta y normalmente cerrada. En el caso de las de tres perforaciones, una es la línea común, otra es normalmente abierta y la tercera es normalmente cerrada.

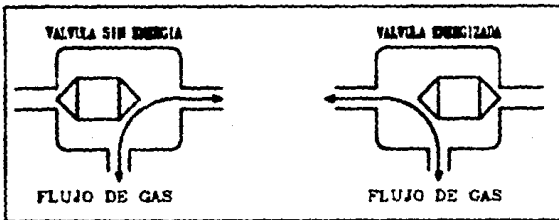


Fig. 12.- Comportamiento del flujo en la válvula de tres perforaciones.

La válvula que empleamos en el medidor es una de tres caminos y de pequeña capacidad de flujo, debido a que la capacidad necesitada siempre será menor a 2 litros por minuto y la

diferencia de presión entrada-salida es únicamente de 0.1 bar o menor, por ésta razón, la bobina no necesita ser de gran fuerza.

Seleccionamos una bobina de 12 V.C.D. con una resistencia aproximada de 50 ohms, lo que implica una corriente de 0.24 A y la potencia disipada es 2.88 watts.

Al ubicar la válvula es importante considerar la posición para evitar que residuos líquidos o sólidos consecuentes a la condensación o al mal filtrado del gas, se acumulen ocasionando un problema en el futuro.

b) Contador.

Esta unidad de conteo va a registrar el número de descargas de gas para poder estimar el volumen desplazado en un determinado periodo.

Existen contadores de eventos de tipo electrónico y electromecánico, ambos útiles en nuestro caso.

El primero presenta el inconveniente de requerir un suministro de energía continuo y en caso de interrupción pierde la cuenta. En el caso del segundo se trata de un solenoide que actúa sobre

un contador mecánico, cada vez que se energiza la bobina el contador incrementa una cuenta, la lectura se mantiene aún sin energía eléctrica y puede volverse a cero presionando una tecla al frente.

Según las condiciones estimadas para el reactor de metano, se espera recibir aproximadamente unas 144 descargas al día (una descarga de 50 m cada diez minutos), el contador empleado es de 5 dígitos, lo que permite una duración antes de reciclar a ceros de 694.4 días.

El contador que utilizamos tiene una bobina de 12 V.C.D. y requiere un pulso por cuenta con duración entre 50 milisegundos y 5 segundos para operar en condiciones óptimas. En caso de pulsos menores a 50 milisegundos no se garantiza que sea registrado y en el caso de pulsos mayores a 5 segundos se calienta el dispositivo.

La calidad de este contador permite aplicaciones industriales con una vida útil de varios años libre de mantenimiento y soporta ambientes corrosivos.

III.2.- Diseño de prototipos para la medición de flujo de gas metano.

La mayoría de los prototipos conocidos para la medición de gasto que emplean sello líquido operan en forma muy parecida.

En todos ellos se desplaza un líquido de un recipiente a otro, se controla la entrada y salida de gas mediante válvulas, se detectan los niveles de líquido para conocer la capacidad volumétrica y el líquido es adicionado con alguna sustancia para reducir el escape de gas a través de él y en los que se detecta el nivel midiendo la conductividad del líquido se le agregan sustancias que mejoran esta propiedad.

La diferencia importante que encontramos entre los diferentes prototipos es prácticamente en la manera de construirlo, materiales, técnicas para detectar el nivel y tipo de válvulas.

A continuación se describen algunos prototipos que se han empleado en algunos laboratorios y que se han investigado con la finalidad de lograr un diseño con menos problemas y mayor duración.

i) Colección de gas:

El equipo se muestra en la Fig.13 y opera en la siguiente forma.

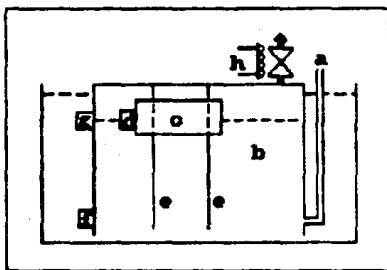


Fig. 13.- Diagrama del medidor de flujo de gas.

El gas del digestor fluye a través de la entrada del tubo (a) y es colectada en la cámara (b) que forma un recipiente cilíndrico abierto por la parte inferior y sellado en la parte superior. Conforme el nivel del líquido en la cámara desciende deja caer al flotador (c) que a su vez sostiene un disparador magnético (d), ambos se deslizan hacia abajo por medio de las barras guías (e) hasta que el interruptor de láminas inferior (f) cierra magnéticamente cuando el flotador se encuentra abajo y abre la válvula solenoide (h). Cuando se termina el flujo de gas

hacia el exterior a través de la válvula se activa el cerrado magnético del interruptor superior (g) para la válvula solenoide y se admite agua para la reentrada de la cámara (b) iniciando un nuevo ciclo. El interruptor inferior también genera la señal que se aplica a un contador para cuantificar la cantidad de gas generada.

El segundo método se describe a continuación y está encaminado específicamente a la fermentación de materia y la medición de metano producido. Este diseño consiste de un medidor de gas para porcentajes reales de bajo flujo y un contador con buena resolución y seguridad.

1.1).- Descripción:

El esquema del medidor de gas es mostrado en la fig. 14. El sensor es un frasco de forma esférica (A) equipado con dos detectores de nivel (B) y lleno con sustancias bioquímicas donde la parte inferior se conecta al frasco de depósito (C). La parte superior del frasco sensor puede ser conmutada entre el digestor o la atmósfera por medio de una válvula solenoide de tres caminos (D). Esta válvula solenoide es operada a través de un simple dispositivo electrónico manejado por las dos sondas (B) y la sonda de referencia (E).

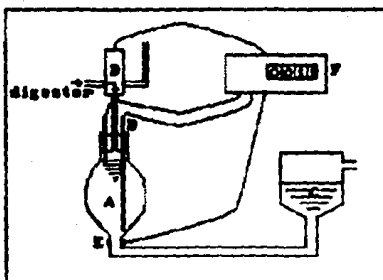


Fig. 14.- Diagrama del medidor de gas cuando se conecta el digestor.

Cuando el medidor de gas es conectado al digestor el gas producido desplaza al líquido del frasco sensor hacia el depósito (C) fig. 14, entonces la sonda inferior detecta la falta de líquido y genera la señal que invierte la función de la válvula para descargar el gas acumulado a la atmósfera, fig. 14a.

Adicionalmente se tiene un pulso eléctrico que incrementa un contador digital (F). El volumen del frasco sensor es seleccionado conforme al porcentaje de flujo de gas.

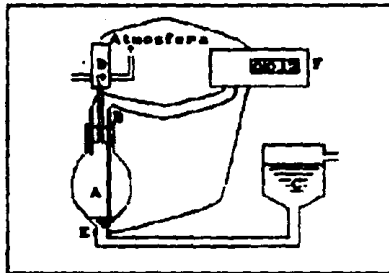


Fig. 16a.- Diagrama del medidor de gas cuando es conectado a la atmósfera.

Esta secuencia se repite en forma continua para poder cuantificar el volumen de gas que proviene de los digestores.

CAPITULO IV
CONSTRUCCION

CAPITULO IV

CONSTRUCCION

Partiendo de las condiciones presentadas en el capítulo anterior en esta sección se describe la construcción del medidor de gas metano para bajas velocidades y se dan algunos detalles sobre la instalación y mantenimiento de las válvulas solenoides para prolongar su vida útil, la descripción de las funciones del sistema y del circuito electrónico.

En el diseño se contemplaron las siguientes características que se llevaron a cabo en la construcción como son:

- 1) Que el aparato sea modular con la finalidad de poder proporcionar el mantenimiento preventivo y/o correctivo en forma eficiente.
- 2) Que sus partes o elementos estén integrados por componentes de fabricación nacional o de fácil adquisición para el caso de que sea necesaria la reposición de alguna pieza.
- 3) Que los materiales utilizados para su construcción sean resistentes al ambiente corrosivo en el que se instalará.
- 4) Que el conjunto sea de bajo costo en comparación al del equipo importado o comercial.

Adicionalmente a la buena presentación del equipo se construyó de forma tal que fuera de fácil manejo distribuyendo los controles y carátula del contador al frente para poder tener una buena visualización de los datos y asegurarnos de que el equipo esté funcionando normalmente. Esto se hizo usando una caja metálica forrada en cuyo interior se montaron los circuitos electrónicos los cuales se protegieron por medio de barniz acrílico y se selló completamente para evitar la corrosión. Por la parte exterior trasera se montaron las válvulas solenoides para facilidad en la conexión de las mangueras y mantenimientos posteriores.

IV.1.- Especificaciones en el mantenimiento de la válvula solenoide.

Para instalar la válvula solenoide de tres caminos cuyas características de operación se encuentran en el capítulo anterior tomamos en cuenta los siguientes criterios.

- Posición:

Las válvulas pueden ser montadas en cualquier posición. En nuestro caso es conveniente tener una pequeña inclinación respecto a la horizontal para evitar que se acumule líquido

dentro de la válvula.

- Mangueras:

Se conecta la manguera a la válvula de tal forma que la dirección de flujo sea como se establece en el párrafo de operación y conforme al esquema de flujo de la válvula.

Si el gas se aplica directamente a la válvula pueden entrar pequeñas gotas de líquidos residuales suspendidas en el gas y causar dificultades en la operación por lo que se acondicionó una pequeña trampa para atraparlas. Para evitar esfuerzos mecánicos de las mangueras sobre el cuerpo de la válvula es conveniente emplear un soporte y tratar de mantener alineadas las mangueras.

- Temperatura del Solenoide:

Cuando el solenoide es energizado durante un largo periodo este se calienta. En el diseño se consideró este aspecto logrando hacer que la válvula únicamente se energice durante la descarga, así el periodo de tiempo en que se calienta la bobina es corto y el tiempo de reposo para enfriarla es mayor. Considerando además que la potencia disipada por el solenoide es

tan sólo de 2.88 watts y que el área de disipación al chasis y al aire es relativamente grande, el incremento de temperatura en la válvula es menor a 1 °C sobre la ambiente.

- Limpieza:

Se recomienda limpiar la válvula solenoide periódicamente. El tiempo entre cada limpieza puede variar dependiendo del uso y condiciones de servicio. Se puede desarmar fácilmente la válvula para limpiar el núcleo en caso de residuos viscosos o sólidos aflojando la tuerca que se encuentra en la parte superior y levantando la tapa.

IV.2.- Descripción del funcionamiento del sistema.

El reactor o recipiente en el que se encuentra el material biodegradable junto con las bacterias anaerobias está sellado y sólo permite el acceso de una manguera. A través de ella fluye el gas generado impulsado por el incremento de presión. En el extremo contrario se encuentra la válvula solenoide que controla el paso del gas. Este gas atraviesa la válvula y llega a un recipiente en donde se acumula un determinado volumen del mismo. Este volumen es fijado por el operador al calibrar el sistema y se mantiene prácticamente constante en todos los

ciclos.

Posteriormente, al detectar el sistema electrónico el volumen de gas previamente establecido, ordena a la válvula cerrar la entrada y descargar el gas acumulado por medio de la manguera de salida. Al terminar la operación se inicia un nuevo ciclo y nuevamente admite gas por la entrada.

La cantidad de descargas es registrado por el contador que se encuentra al frente del equipo. De este modo, al efectuar el producto del volumen en cada ciclo por el número de descargas se puede totalizar la cantidad de gas desplazado.

Para poder medir con precisión la cantidad de gas que entra disponemos de dos recipientes interconectados en la parte inferior y que contienen un líquido hasta aproximadamente el 50% de su altura. Al ingresar gas en el recipiente receptor, por el principio de vasos comunicantes el líquido es desplazado al recipiente sensor en donde unos electrodos detectan los límites de altura del líquido y que consecuentemente corresponden con los límites inicial y final de un determinado volumen de gas. El proceso es reversible y cuando el gas escapa por la descarga el líquido del vaso sensor regresa al principal completando el ciclo.

IV.3.- Circuito electrónico y lógica de control.

El esquema del circuito electrónico se muestra en las siguientes páginas y se compone del circuito de alimentación y del circuito de control. Posteriormente se describe en forma general su funcionamiento.

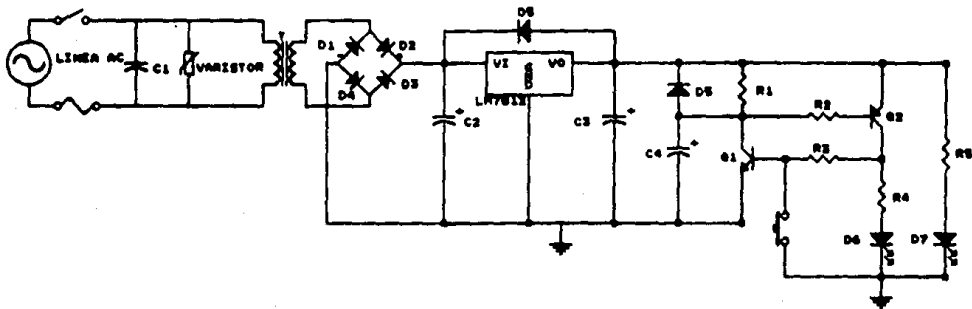
1) Circuito de Alimentación:

Esta tarjeta es la encargada de suministrar la energía necesaria a todos los dispositivos electrónicos del sistema.

En la primera etapa del circuito se protege al sistema contra picos peligrosos de voltaje provenientes de la línea de alimentación por medio de un filtro paso bajas y un varistor.

En la segunda etapa del circuito se realiza la transformación del voltaje alterno para obtener baja tensión y aislamiento de la línea. El transformador nos proporciona 18 V en el secundario, tensión que aplicamos a un puente de diodos para su rectificación y así obtener un voltaje de directa.

El voltaje rectificado es filtrado y regulado para aplicarse a los circuitos. Otra parte de la fuente de poder se encarga de



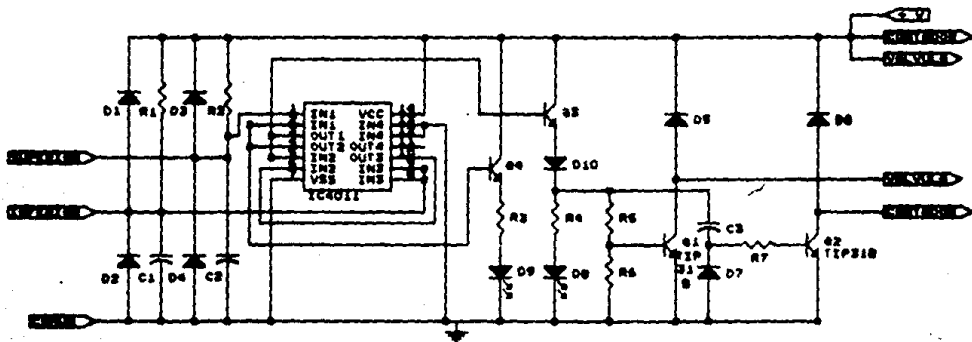
INSTITUTO DE INGENIERIA - UNOH		
Titulo FUENTE DE VOLTAJE		
Size Document Number		
A	Alva Gutierrez Leticia.	REV JL
DATE:	02/08/02	BY

indicar cuando ha sucedido una interrupción de energía eléctrica. La indicación se hace por medio de un diodo emisor de luz (D_4) que enciende siempre que se energiza el equipo y se apaga manualmente cuando el operador presiona la tecla correspondiente.

ii) Circuito de control:

Este circuito es el encargado de recibir la señal proveniente de los electrodos, amplificarla, controlar las válvulas que controlan el acceso de gas (entrada y salida) y el manejo de las lecturas en el contador electromecánico.

Los cambios de tensión generados cuando los electrodos superior e inferior se ponen en contacto con el líquido son amplificados y convertidos en una señal lógica que se aplica al C.I. 4011. A la salida principal se le incrementa la capacidad de corriente por medio de Q_1 conectado en configuración seguidor emisor. Esta señal se aplica a través de los transistores de salida a la válvula y al contador con una diferencia, la señal que se aplica a la válvula tiene una duración igual al periodo de descarga del gas mientras que la señal en el contador es solo un pulso corto controlado por un circuito monoestable y su duración es independiente del periodo de descarga del gas.



INSTITUTO DE INGENIERIA - UMMH	
Título	
CIRCUITO DE CONTROL	
Número Documental	
4	Alvo Gutiérrez Leticia
FECHA:	2011.04.15

Los diodos D_1 a D_4 actúan como dispositivos de protección contra posibles sobretensiones o cargas estáticas aplicadas en las entradas.

Los capacitores C_1 y C_2 junto con las resistencias R_1 y R_2 permiten polarizar las entradas del circuito y atenuar las altas frecuencias actuando como un filtro pasobajas, así el equipo puede ser operado en cualquier lugar debido a su baja sensibilidad a la interferencia de radiofrecuencia.

Los diodos emisores de luz D_3 y D_4 indican si la válvula está admitiendo o expulsando gas. El resto de las partes forman el circuito monoestable y las etapas de salida para la válvula y el contador respectivamente.

IV.4.- Calibración:

La calibración de todos los instrumentos es importante y consiste en verificar que el instrumento exprese un valor dado con respecto a un estándar conocido.

En el aparato la calibración se realiza variando la diferencia de alturas entre los electrodos superior e inferior dentro del recipiente sensor, ya que es ahí donde se origina la señal para

indicarle al circuito de control los cambios de nivel del gas y líquido respectivamente.

Los electrodos que participan en la toma de lecturas están expuestos a sufrir daños a lo largo del tiempo, ya que la solución en la que se encuentran sumergidos es ácido sulfúrico concentrado al 10% y saturación de cloruro de sodio (para asegurar una mayor conducción en el líquido y evitar que se disuelva el gas en el agua provocando posibles fugas), lo que puede ocasionar que se desgasten de las puntas originando lecturas erróneas.

La calibración del sistema es confiable y duradera, sin embargo puede ser afectada ligeramente a lo largo del tiempo debido a la evaporación de agua dentro de los recipientes y al desgaste asimétrico en los electrodos por efectos de corrosión.

Debido a que el desplazamiento de gas en cada ciclo depende únicamente de la distancia entre los electrodos, la cantidad total de agua en los recipientes no afecta en forma periódica. Únicamente al final de un periodo largo, por ejemplo de dos a cuatro semanas, se requiere sumarle al volumen total de gas desplazado la cantidad de líquido evaporado (una sola vez).

Por ejemplo, si el equipo desplaza 100 ml en cada ciclo y en un mes descargó 600 veces, y la evaporación fué de 50 ml, el volumen de gas desplazado es:

$$[100 \times 600] + 50 = 60\ 050 \text{ [ml]}$$

La pérdida de la calibración causada por corrosión en los electrodos es poco predecible pero se ha minimizado con la forma y el material usado en su construcción, buscando uno que sea prácticamente inerte.

La importancia de la calibración no debe pasarse por alto porque con ella se establece la exactitud de los instrumentos. Antes que aceptar la lectura del instrumento es mejor realizar, al menos una simple verificación, de la calibración para estar seguros de la validez de las mediciones, sobre todo cuando el aparato tiene un largo tiempo funcionando.

IV.5.- Instrucciones de Instalación y Operación.

Es importante seguir las indicaciones al instalar y manejar el equipo en el lugar de trabajo, por lo que se enumeran los pasos de instalación y operación y que se muestran en la siguiente figura.

- Instalación:

- 1.- Conectar el equipo a la línea de voltaje de 127 VCA.
- 2.- Conectar los tres electrodos detectores de nivel y mangueras como se muestra en la gráfica.
- 3.- Calibrar el volumen de gas por descarga ajustando la altura de los electrodos superior e inferior, evitando que se igualen los niveles entre los dos vasos comunicantes. El electrodo común debe mantenerse siempre sumergido.

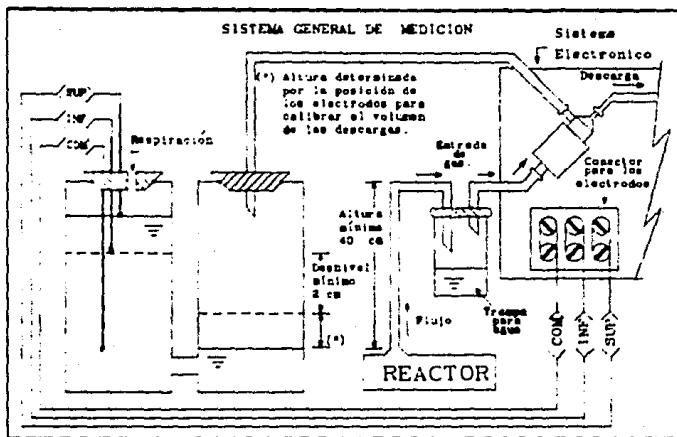


Fig. 15.- Diagrama general de instalación y operación.

- Operación:

1.- Encender el equipo con el interruptor localizado en el panel frontal.

2.- Inicializar el proceso presionando la tecla de inicio verificando que se apague la luz roja.

3.- Colocar los 2 contadores en cero.

4.- En caso de que el suministro de energía eléctrica se interrumpa durante la medición la lectura no será confiable. Esta condición se indicará por medio de la luz roja.

5.- Extremar precauciones para evitar que líquidos y/o sólidos pasen a través de las válvulas. Para ello es conveniente emplear una trampa para líquidos en la línea de entrada. En caso necesario se puede limpiar con alcohol y posteriormente hacer pasar aceite de silicón de baja viscosidad.

CAPITULO V

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

V.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El medidor de flujo de gas metano en baja velocidad descrito en este trabajo es barato en comparación con el equipo comercial, su costo aproximado es de un 60 % con respecto a los medidores utilizados para este tipo de mediciones. El uso de un método volumétrico permite que sea seguro y preciso y, como ya se describió, tiene la ventaja de no tener pérdidas en cada ciclo por deslizamiento, entre el gas que circula y el gas detectado.

La selección y bajo costo de los dispositivos permiten que un buen número de digestores puedan ser monitoreados simultáneamente en forma independiente durante largo tiempo sin la necesidad de efectuar mantenimientos en periodos de tiempo cortos. Esto lo hace ideal para registrar la producción de gas de digestores anaeróbicos a escalas de laboratorio.

Este trabajo describe a dicho medidor como un sistema que es capaz de medir el flujo lento de cualquier reacción bioquímica y de indicar un factor importante, si la medición fue interrumpida debido a una suspensión en la alimentación de energía.

El problema que se presenta es el ambiente corrosivo en que que se instalará. Para minimizar su efecto se selló el equipo de la manera más efectiva posible y así evitar la penetración de gas desprendido por otros reactivos que se encuentran en la cámara, además de la humedad y las variantes en la temperatura en que se realizan las pruebas. Adicionalmente se roció laca acrílica sobre las tarjetas de los circuitos electrónicos, para evitar daños en los dispositivos, así como las paredes de la caja.

Para hacer uso del equipo es importante seguir las instrucciones de instalación y operación para obtener buenos resultados en las mediciones y que ya se explicaron anteriormente.

APENDICE A

A P E N D I C E A

ANTECEDENTES DE LOS PROCESOS ANAEROBIOS.

La aplicación de procesos biológicos en el tratamiento de desechos orgánicos se remonta al siglo pasado, cuando sistemas rústicos como la fosa séptica comenzaron a ser utilizados para el control de la contaminación y de los riesgos sanitarios asociados. Tal es el caso de China y la India, donde se utilizaba el estiércol para la producción de biogás.

La evolución de la tecnología anaerobia ha dado lugar a tres generaciones de reactores. La primera comprende aquellos procesos en donde la biomasa se encuentra en suspensión. En los de segunda generación los microorganismos son retenidos en el reactor, ya sea al suministrarles un soporte para que se adhieran en forma de biopelícula o bien por medio de su sedimentación. Los reactores de tercera generación tienen también los microorganismos en forma de biopelícula, pero el soporte se expande o fluidiza con altas velocidades de flujo.

A continuación se describen brevemente los diversos reactores existentes:

a) Reactores anaerobios de 1a. generación. Los reactores anaerobios más primitivos son la fosa séptica y los digestores del tipo rural con alimentación semicontinua y de los cuales se tiene referencia desde el siglo pasado. Estos digestores son utilizados para la producción de biogás a partir de desechos agrícolas y ganaderos.

- Fosa séptica y tanque Imhoff. La fosa séptica puede considerarse como un digestor convencional a escala muy reducida en donde las condiciones anaerobias estrictas no siempre se cumplen ya que existen zonas anóxicas. Su uso se ha limitado a tratar las aguas de desecho de casas habitación, escuelas, hospitales, etc., y en general en zonas rurales en donde no existe el servicio de drenaje.

Su principal función se limita a la hidrólisis de la materia orgánica en suspensión y requiere que la fosa evacúe en un sistema de zanjas de absorción colocadas en el suelo para lograr que la eficiencia sea buena y establezca a la materia orgánica.

Por su parte, el tanque Imhoff es un sistema un poco más elaborado que el anterior, ya que crea dos compartimientos distintos, el de decantación y el de digestión. Esto impide en cierto modo que los productos de la hidrólisis de los lodos sean

evacuados por el efluente, lo que se traduce en mejores eficiencias de tratamiento. Sus aplicaciones han sido a nivel de pequeñas comunidades en donde la fosa séptica no sería recomendable debido al volumen que requiere.

- Lagunas anaerobias. Este es otro proceso rústico empleado en aguas de desechos industriales evacuadas a temperatura superior a la del ambiente y con cierto contenido de sólidos suspendidos en donde las condiciones anaerobias prevalecen, con la excepción de una pequeña zona en la superficie. Las condiciones meteorológicas influyen de manera marcada en la operación de estos sistemas, registrándose generalmente una baja considerable en la eficiencia durante el invierno.

b) Reactores anaerobios de 2a. generación. El progreso logrado con este tipo de reactores se manifiesta en tiempos de retención hidráulica sustancialmente cortos (de 0.5 a 3 días), lo que implica una reducción importante en los volúmenes del reactor y en una mayor estabilidad y facilidad en su operación.

Esto se logra al retener la biomasa anaerobia dentro del reactor mediante la formación de una película de microorganismos fijos sobre soportes, o bien por medio de la sedimentación de flóculos microbianos con muy buenas características de

decantación. Con esto, la limitación provocada por la reducida tasa de crecimiento de las bacterias anaerobias es prácticamente eliminada. Otras ventajas obtenidas son un cierto grado de resistencia a productos tóxicos, una adaptación rápida a cambios en la alimentación y un arranque rápido después de periodos prolongados sin alimentación.

- Filtro anaerobio. El filtro anaerobio fue recomendado inicialmente para sustratos solubles y medianamente concentrados en materia orgánica. En la actualidad se ha aplicado en laboratorio y a escala real tratando una amplia serie de sustratos a diversas concentraciones. Esencialmente consiste en un reactor de flujo ascendente empacado con soportes plásticos o con piedras de 3 a 5 cm. de diámetro promedio. El coeficiente de vacío debe ser grande para evitar el taponamiento, lo que en algunos casos se traduce en una área específica inferior a $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

- Reactor anaerobio de lecho de lodos. Su gran ventaja consiste en que no requiere ningún tipo de soporte para retener la biomasa, lo que implica un ahorro de recursos importante. Su principio de funcionamiento se basa en la buena sedimentabilidad de la biomasa producida dentro del reactor, la cual se aglomera en forma de granos hasta de 5 mm de diámetro.

Estos granos cuentan además con una actividad metanogénica muy elevada, lo que explica los buenos resultados del proceso. El reactor es de flujo ascendente y en la parte superior cuenta con un sistema de separación gas-liquido-sólido, el cual evita la salida de sólidos suspendidos en el efluente y favorece la evacuación del gas y la decantación de los flóculos que eventualmente llegan a la parte superior del reactor. Un punto importante en su diseño es la distribución de las entradas del agua residual, ya que una mala repartición puede provocar que ciertas zonas de la cama de lodos no sean alimentadas, desperdiciando así su actividad. Esto es particularmente cierto en el tratamiento de aguas residuales municipales, pues la limitada materia orgánica presente forma sólo pequeñas cantidades de biogás y por lo tanto la agitación del lecho, provocada por las burbujas, se ve reducida. El punto débil del proceso consiste en la lentitud a la que se forman los granos, elemento indispensable del sistema. Esto puede solucionarse mediante una inoculación importante con lodos adecuados.

c) Reactores anaerobios de 1a. generación. Estos reactores se encuentran básicamente aún en nivel piloto o semi-industrial.

Son también reactores de película fija pero el soporte utilizado es lo suficientemente pequeño y ligero para que pueda

ser fluidizado con una recirculación del efluente. Se han reportado resultados de laboratorio en extremo prometedores, pero en escala piloto han sido mediocres, por lo menos en el caso del agua residual doméstica. Los dos tipos de reactores, el reactor de lecho expandido y el reactor de lecho fluidizado, son semejantes entre si diferenciándose en el grado de fluidización del soporte (20% para el lecho expandido y superior al 50% para el lecho fluidizado). Su avance consiste en tiempos de retención aún menores, inferiores a 12 horas, ya que la superficie de soporte disponible es muy elevada (superior a $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$) y la agitación en el lecho es vigorosa, eliminando los problemas de transferencia de sustrato. Otra ventaja es que no presentan problemas de taponamiento. Sin embargo requieren energía para la recirculación y la fluidización del lecho, además su operación y arranque son en extremo delicados.

APENDICE B

A P E N D I C E B

TABLAS DE EQUIVALENCIAS Y DATOS DEL EQUIPO

Tabla 1

Hidrógeno	420	[microcal/cm s°C]
Helio	350	"
Metano	76	"
Oxígeno	60	"

Tab.1.- Conductividades Térmicas a 25 °C.

Tabla 2

Peso Molecular	16.043
Presión	667.2 [Psia]
Volumen	0.0991 [ft ³ /lb]
Compresibilidad	0.288

Tab.2.- Propiedades Físicas del Gas Metano.

Tabla 3

	atm	cm-Hg	Pascal	lb/plg ²
1 Atmósfera =	1	76	1.013 E ⁵	14.70
1 cm. de Hg a 0 °C	1.3162 E ²	1	1333	0.1934
1 PASCAL	9.869 E ⁻⁶	7.501 E ⁻⁴	1	1.450 E ⁻⁴
1 lb/pg ²	6.805 E ⁻²	5.171	6.895 E ³	1

Tab.3.- Algunas medidas y equivalencias de presión.

Tabla 4

	Btu	lb . pie	JOULE	caloría
1 Unidad Térmica Británica	1	777.9	1055	252.0
1 libra-pie	1.285 E ³	1	1.356	0.3239
1 JOULE	9.481 E ⁻⁴	0.7376	1	0.2389
1 Caloría	3.968 E ³	3.087	4.186	1

Tab.4.- Unidades y equivalencias de energía y trabajo.

Tabla 5

Material	Constante Dieléctrica	Resistencia** Dieléctrica (KV/mm)
Vacio	1.00000	
Aire	1.00054	0.8
Agua	78	-
Papel	3.5	14
Mica de rubí	5.4	160
Porcelana	6.5	4
Cuarzo fundido	3.8	8
Vidrio Pyrex	4.5	13
Polietileno	2.3	50
Anbar	2.7	90
Poliestireno	2.6	25
Tefión	2.1	60
Neopreno	6.9	12
Aceite de Piranol	4.5	12
Dióxido de titanio	100	6

Tab.5.- Propiedades de algunos dieléctricos*.

* Estas propiedades corresponden a una temperatura aproximadamente igual a la del ambiente y en condiciones tales que el campo eléctrico E en el dieléctrico no varíe con el tiempo.

Este concepto es el gradiente de potencial eléctrico que puede existir en el dieléctrico sin que se produzca un rompimiento eléctrico. Con frecuencia se coloca un dieléctrico entre placas paralelas, lo cual permite que se les aplique una diferencia de potencial mayor que en el caso en que el dieléctrico sea el aire.

Tabla 6

	Gauss	Tesla
1 Gauss	1	10^{-4}
1 TESLA	10^4	1

Tab.6.- Unidades de campo magnético.

* 1 tesla = 1 weber/metro².

Tabla 7

	Btu/h	caloria/s	W
1 BTU por hora =	1	7.000	0.2930
1 caloria/seg. =	14.29	1	4.186
1 Watt =	3.413	0.2389	1

Tab.7.- Equivalencias de unidades de potencia.

Tabla 8

Energía: 127 (VCA) $\pm 10\%$; 50/60 Hz.
 Temperatura de operación: 0 a 70 °C
 Corriente en los electrodos: 25 μ A
 Tensión máxima en los electrodos: 12 V
 Consumo de Corriente: 0.108 (A)
 Protección contra tensiones
 transitorias hasta: 400 V
 Peso : 0.75 Kg.
 Dimensiones: 12.7 cm. de alto
 23.2 cm. de largo
 15.6 cm. de ancho.

Tab.8.- Características del medidor de gasto.

BIBLIOGRAFIA

B I B L I O G R A F I A

- TRANSDUCTORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL

Ramón Pallás Areny

Ed. Marcombo, 1989.

- ELECTRONIC SENSING DEVICES

A. F. Giles

Ed. George Newnes.

- INSTRUMENT TECHNOLOGY

Mechanical Measurement.

G. Fowles - B. E. Noltingk

Ed. Butterworths

- INSTRUMENT TECHNOLOGY

Measurement of Temperature and Chemical Composition.

W. G. Cummings and K. Torrance - C. K. Laird.

Ed. Butterworths

- FUNDAMENTOS DE LOS ULTRASONIDOS.

Jack Blitz.

Ed. Butterworths & Co.

Ed. Alhambra S. A.

- F I S I C A I y II.

Robert Resnick - David Halliday

Ed. C.E.C.S.A.

- MECANICA DE LOS FLUIDOS

Streeter/Wylie

Ed. Mc. Graw Hill.

- MEASUREMENT AND INSTRUMENTATION IN ENGINEERING.

Francis S. Tse - Ivan E. Morse.

Marcel Dekker, Inc., 1989