



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROTOTIPO PARA EL SISTEMA DE SENSADO DE LA
OPERACIÓN DE UNA PLANTA DE BIOGÁS INSTALADA
EN CIUDAD UNIVERSITARIA PARTE 1.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTA:

RAÚL ISAAC LÓPEZ ESQUIVEL

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. ALEJANDRA CASTRO GONZALEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA 17 /Junio/ 2013.



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 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.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: **ING. JACINTO VIQUEIRA LANDA**

VOCAL: **DRA. ALEJANDRA CASTRO GONZALES**

SECRETARIO: **ING. RODOLFO PETERS LAMMEL**

1er. SUPLENTE: **DR. ARTURO GUILLERMO REINKING CEJUDO**

2do. SUPLENTE: **M.I JUAN CARLOS CEDEÑO VAZQUEZ**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Posgrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

Este trabajo se desarrollo dentro del marco del proyecto PAPIME PE100810: "Prototipos de Sistemas de Bioenergía y Biocombustibles". Se agradece el apoyo otorgado de DGAPA a estos proyectos.

ASESORA DEL TEMA:

Dra. Alejandra Castro González

SUSTENTANTE:

Raúl Isaac López Esquivel

Agradecimientos especiales

A mis padres. Por su apoyo incondicional en todo momento a lo largo de mi formación. Quiero dedicarles esta tesis, pues si otra persona merece todos mis logros son ustedes. Ustedes me han dado la vida y mi formación. Veo su emoción en mis triunfos y sintiendo como si fueran de ustedes, y así es. Recordaran cuando escondía mis cuadernos en la primaria y demás historias que no cabrían aquí. No tengo palabras para decirles que estoy en deuda les debo muchas lecciones aprendidas, metas cumplidas y sueños logrados. Los quiero mucho.

A mis abuelos. En especial a mi abuelita Maria del Refugio quien considero un ejemplo de carácter y personalidad a seguir. No olvidare sus palabras "tu tesis" y "tempano de hielo" la quiero mucho.

A mi profesora Alejandra Castro González. Por su apoyo durante la realización de mi tesis, por su sencillez y confianza.

A mis amigos universitarios Abraham, Alan Fonseca, Alan Menchaca, Arturo, Gerardo, Joshua, Juan Luis, Juan Carlos, Mauricio, Miguel Montaña, Octavio, Saúl y Zinue. Lo curioso de esto es que uno recuerda más las convivencias que las horas en clase. Gracias por su amistad y sobre todo porque gracias a ustedes fueron más agradables los días durante y después de la universidad. Somos hermanos de Sangre azul y piel dorada.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS
ÍNDICE DE FIGURAS
RESUMEN
INTRODUCCIÓN
OBJETIVO

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1 ENERGÍAS RENOVABLES E IMPORTANCIA DEL BIOGÁS
1.2 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS ORGÁNICOS EN MÉXICO
1.3 DESECHOS PECUARIOS MÁS UTILIZADOS EN MÉXICO

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS

2.1 SISTEMAS ANAEROBIOS
2.2 DEGRADACIÓN ANAEROBIA
2.3 PARÁMETROS DE CONTROL EN UN SISTEMA ANAEROBIO
2.4 IMPORTANCIA DEL SENSADO EN SISTEMAS BIOQUÍMICOS
2.5 PROBLEMÁTICA PRESENTADA EN LA OPERACIÓN DE REACTORES ANAEROBIOS POR LA EXCLUSIÓN DEL SENSADO
2.6 TRANSDUCTORES
 2.6.1 TIPOS
 2.6.1.1 TRANSDUCTORES DE POSICIÓN
 2.6.1.2 TRANSDUCTORES DE HUMEDAD
 2.6.1.3 TRANSDUCTORES DE PRESIÓN
 2.6.1.4 TRANSDUCTORES DE VELOCIDAD LINEAL
 2.6.1.5 TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA
 2.6.1.6 TRANSDUCTORES DE PH
 2.6.1.7 TRANSDUCTORES DE LLAMA
 2.6.1.8 TRANSDUCTORES DE GASES
 2.6.1.9 TRANSDUCTORES DE CAUDAL.
 2.6.2 USOS
2.7 SENSORES
 2.7.1 TIPOS
 2.7.1.1 SENSORES DE DESPLAZAMIENTO O

- POSICIÓN**
- 2.7.1.2 sensores de temperatura**
- 2.7.1.3 sensores de caudal**
- 2.7.1.4 sensores de velocidad**
- 2.7.1.5 sensores de gas**
- 2.7.1.6 sensores inteligentes**
- 2.7.1.7 sensores de pH**
- 2.7.2 usos**
- 2.8 sistemas de medición**
- 2.8.1 tipos**
- 2.8.1.1 convertidores analógico-digitales**
- 2.8.1.2 convertidores digital-analógicos**
- 2.8.2 usos**
- 2.9 ejemplos de usos de sensores en los sistemas anaerobios**

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

- 3.1 reactor anaerobio propuesto**
- 3.2 parámetros de control a implementar**
- 3.2.1 sensado electrónico de pH**
- 3.2.2 sensado electrónico de metano**
- 3.2.3 sensado electrónico de dióxido de carbono**
- 3.2.4 sensado electrónico de temperatura**
- 3.2.5 sensado electrónico de presión**
- 3.2.6 medidor de nivel electrónico**
- 3.3 electrónica en parámetros de control a implementar**

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

- 4.1 sistemas electrónicos propuestos**
- 4.1.1 sensado electrónico de pH**
- 4.1.2 sensado electrónico de metano**
- 4.1.3 sensado electrónico de dióxido de carbono**
- 4.1.4 sensado electrónico de temperatura**
- 4.1.5 sensado electrónico de presión**

- 4.1.6 MEDIDOR DE NIVEL ELECTRÓNICO**
- 4.2 DIAGRAMAS ELECTRÓNICOS**
- 4.3 DIAGRAMA GLOBAL ELECTRÓNICO DEL SISTEMA**
- 4.4 COSTOS DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS EN EL SISTEMA**
- 4.5 COMPARACIONES CON OTROS SISTEMAS DE MISMA APLICACIÓN**
- 4.6 APORTACIONES DEL TRABAJO**

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Datos sobre peso específico y contenido de humedad para residuos orgánicos, domésticos, comerciales, industriales y agrícolas.....	7
Tabla 1.2	Resumen de proyectos MDL y programados, por categoría y etapa al 31 de diciembre de 2010.....	9
Tabla 1.3	Proyectos mexicanos de MDL con cartas de aprobación.....	10
Tabla 2.1	Distintos tipos de termopares y sus características.....	28
Tabla 2.2	Dispositivos Resistencia Temperatura Detector (RTD) más comunes.....	29
Tabla 2.3	Unidades eléctricas estándar.....	44
Tabla 4.1	Costos para elaboración de indicador.....	94
Tabla 4.2	Costo de sensores y alimentación del sistema.....	94
Tabla 4.3	Comparación de costos en el mercado.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Aumento de la temperatura a nivel mundial por GEI.....	5
Figura 1.2	Evolución de emisiones de GEI en México.....	12
Figura 2.1	Reactor anaerobio tipo indio.....	15
Figura 2.2	Reactor anaerobio tipo chino.....	15
Figura 2.3	Etapas en el proceso de degradación anaerobia.....	17
Figura 2.4	Intervalo de temperatura para bacterias psicrófilas, mesófilas y termófilas.....	18
Figura 2.5	Diagrama a bloques de la función de un transductor.....	21
Figura 2.6	Efecto Hall.....	23
Figura 2.7	Algunas configuraciones de los sensores inductivos.....	23
Figura 2.8	Potenciómetros circulares	24
Figura 2.9	Diagrama a bloques de un transductor de humedad con acondicionador de señal.....	25
Figura 2.10	Distintos tipos de sensores de presión resistivos	26
Figura 2.11	Principio de funcionamiento de un transductor piezo-ceramico/multicapa.....	26
Figura 2.12	Principio de funcionamiento de los transductores MPX	26
Figura 2.13	Transductores de velocidad lineal.....	27
Figura 2.14	Curva de algunos termopares con sus características eléctricas.....	28
Figura 2.15	Respuesta de un potenciómetro resistivo.....	34
Figura 2.16	Configuraciones más comunes basadas en los 3 principios fundamentales.....	35
Figura 2.17	Capacitor de área variable.....	36
Figura 2.18	Transductor de inductancia variable.....	37
Figura 2.19	Puente resistivo y su circuito equivalente.....	38
Figura 2.20	Circuito para termistor utilizando puente resistivo	39
Figura 2.21	Sensor de caudal.....	40
Figura 2.22	Principio de funcionamiento de un tacómetro	41
Figura 2.23	Sensor de gas.....	42
Figura 2.24	Circuito con isFET sensible a pH.....	43
Figura 2.25	Diagrama de bloques básico de un medidor digital	48

Figura 2.26	Comparador de voltaje.....	49
Figura 2.27	Diagrama de bloques de un convertidor analógico-digital rampa de escalera.....	51
Figura 2.28	Convertidor analógico digital de doble rampa	53
Figura 2.29	Diagrama a bloques de un convertidor voltaje a frecuencia	54
Figura 2.30	Convertidor analógico digital en paralelo	55
Figura 2.31	Diagrama de bloques básico de un convertidor digital-analógico.....	57
Figura 2.32	Convertidor digital-analógico de 4 bits.....	57
Figura 2.33	Red sumadora de peso binario.....	58
Figura 2.34	Convertidor digital analógico en escalera R-2R.....	59
Figura 3.1	Plano con acotaciones vista lateral de planta de biogás.....	63
Figura 3.2	Plano con acotaciones vista superior de la planta de biogás	64
Figura 3.3	Plano con acotaciones vista superior referente a muros de la planta de biogás.....	64
Figura 3.4	Plano con acotaciones vista superior referente a tuberías de la planta de biogás.....	65
Figura 3.5	Plano con acotaciones vista lateral referente a tuberías de la planta de biogás.....	65
Figura 3.6	Electrodo de referencia.....	66
Figura 3.7	Electrodo de medición.....	67
Figura 3.8	Diagrama básico del circuito.....	68
Figura 3.9	Configuración básica de 2°C a 150°C.....	69
Figura 3.10	Diagrama interno de MPX2010DP	70
Figura 3.11	Voltaje de salida vs presión de MPX2010DP.....	70
Figura 3.12	Diseño de recubrimientos para conductor de cobre. Parte interior del reactor.....	71
Figura 3.13	Diseño de recubrimientos para conductor de cobre. Parte interior del reactor con Acotaciones.....	72
Figura 3.14	Primer prototipo empleando ICL7107.....	74
Figura 3.15	Diseño y ubicación de componentes en software EAGLE 5.4.0.....	75
Figura 3.16	Diagrama de conexiones para ICL7107.....	75
Figura 3.17	Construcción final del circuito impreso.....	76
Figura 4.1	Acondicionamiento de señal para K22-LO.....	79
Figura 4.2	Diagrama de sistema para detección de nivel	81
Figura 4.3	Esquemático para fuente de alimentación de ICL7107.....	82
Figura 4.4	Circuito impreso para alimentación del integrado ICL7107.....	82

Figura 4.5	Esquemático para fuente de alimentación de sensores	83
Figura 4.6	Diagrama de circuito impreso para fuente de alimentación de sensores.....	84
Figura 4.7	Esquemático ICL7107.....	85
Figura 4.8	Diagrama de circuito impreso para ICL7107.....	85
Figura 4.9	Diagrama de alimentación y acondicionamiento de señal para electrodo de pH.....	86
Figura 4.10	Diagrama de conexión para sensor de metano TGS2611.....	87
Figura 4.11	Modulo K22-LO y su diagrama de acondicionamiento de señal	88
Figura 4.12	Diagrama de sensor de temperatura y acondicionamiento de señal.....	89
Figura 4.13	Diagrama de sensor de presión MPX2010DP	89
Figura 4.14	Diagrama de circuito para detección de nivel	90
Figura 4.15	Diagrama global de sensado electrónico	91
Figura 4.16	Armado final de sensado electrónico en gabinete de control.....	92
Figura 4.17	Interior del gabinete de control.....	92
Figura 4.18	Electrónica funcionando con medición de 0[V].....	93

RESUMEN

En esta tesis se propone un sistema de sensado electrónico capaz de dar lecturas digitales con buena precisión y sobre todo a un bajo costo de fabricación y mantenimiento. Este sistema de sensado electrónico contará con todas las normas de seguridad para los circuitos electrónicos que lo conforman, también con protecciones necesarias para su buen funcionamiento y seguridad. Este sistema contará con todos los elementos necesarios para una puesta en marcha en la industria con alto rendimiento y eficiencia de sus componentes. Pues no existe fabricación y distribución de estos dispositivos en México, motivo por el cual los precios incrementan considerablemente al momento de adquirir un sistema.

El sistema sensará metano en ppm, dióxido de carbono en ppm, presión en kilopascales, temperatura en grados centígrados, pH y nivel de carga orgánica por medio de dos indicadores, los cuales hacen referencia al nivel mínimo y máximo de carga orgánica contenida en el interior de un reactor anaerobio para el tratamiento de residuos sólidos y semisólidos. Todo el sistema contemplará una alimentación de 120 volts de corriente alterna y sus correspondientes acondicionamientos de voltaje para múltiples dispositivos electrónicos. El costo de fabricación de este sistema no excede los \$3,000.00 M.N. que en comparación a equipos con las mismas características pero de fabricación extranjera oscila alrededor de 400 U\$S solo para el medidor de dióxido de carbono, como es el caso del kit SADK de Fígaro Gas Sensor. De esta forma se logra un ahorro superior al 700% haciendo referencia al sistema completo. Al mismo tiempo que todo estará integrado en un tablero de control con normas de protección para máxima duración.

INTRODUCCION

La degradación anaerobia es un proceso que se aprovecha de la descomposición de material orgánico en ausencia de oxígeno. El proceso también se puede encontrar de forma natural en suelos anegados o sedimentos, incluso, es un proceso que se lleva a cabo de forma natural en los organismos de los mamíferos. Apoyándose de la materia orgánica que se puede degradar, este proceso se puede también aplicar a una amplia gama de materiales incluyendo los de origen industrial, sin dejar de lado, el tratamiento de aguas residuales, desechos agrícolas, municipales y residuos de alimentos.

La producción de biogás a partir de este principio permite obtener básicamente metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), ofreciendo grandes ventajas sobre otros tipos de tratamientos que en ocasiones son inútiles.

Al hablar de un reactor anaerobio se habla de actividades realizadas por microorganismos que afectan conjuntamente a sus alrededores. Es por esta razón que si en principio es fácil de entender lo que ocurre en el interior de un reactor anaerobio, es más difícil estabilizar sus condiciones físicas y químicas para mantener una buena eficiencia en el comportamiento de estos microorganismos, que a final de cuentas son los encargados de garantizar una buena degradación anaerobia y buena producción de metano en el biogás (Khandelwal y Madhi, 1993).

Hay muchas ventajas al tratar material orgánico por medio de reactores anaerobios, entre las más destacadas se encuentran:

- 1) Generación de energía a partir de la recolección de metano.
- 2) Retiro eficaz de patógenos en sustancias orgánicas (Bendixen, 1994; Lund y col., 1996; Sahlstrom, 2003), esto es especialmente para digestores multi-etapas (Kunte et al., 2004; Sahlstrom, 2003) o si una etapa de pasteurización es incluida en el proceso.
- 3) Fertilizante mejorador de suelos del lodo digerido (Tafdrup, 1995).
- 4) Se cuenta con éxito para tratar residuos húmedos con menos de 40% de material seco.
- 5) Reduce las emisiones de metano (CH_4) a la atmósfera, contemplando que el metano contamina 21 veces más que el dióxido de carbono.
- 6) Alto nivel de conformidad con muchas estrategias nacionales que son inútiles y ejecutadas para reducir la cantidad de basura biodegradable.
- 7) Los compuestos volátiles son descompuestos mientras que reduce olores desagradables en un 99% (Smet col., 1999).

Una vez que el biogás es producido, éste se compone generalmente de 48-65% metano, 36-41% dióxido de carbono, hasta 17% de nitrógeno, oxígeno a lo mucho 1%, sulfuro de hidrógeno 32-169 ppm, y rastros de demás gases casi escasos. El dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4) son gases de efecto invernadero muy potentes y el 18% del calentamiento global es causado posiblemente de las emisiones derivadas del metano. De esta forma al usar un reactor anaerobio la producción de biogás está bajo un ambiente seguro y los procesos derivados de la descomposición en un ambiente sellado mientras que el metano potencialmente perjudicial, se mantiene bajo control previniendo que entre en la atmósfera (Khandelwal y Madhi, 1993).

Se puede generar energía a partir de la combustión del metano logrando el desplazamiento de los combustibles fósiles que hoy en día se están agotando, sin dejar de lado, la reducción en la producción de dióxido de carbono que no sea parte del ciclo natural.

México es una potencia en donde se puede explotar esta nueva fuente de energía. Pues cuenta con múltiples fuentes pecuarias en donde los desechos orgánicos son simplemente abandonados, tirados e incluso lanzados a los canales, desperdiciando de esta forma la posibilidad de generar energía a partir de ellos y, peor aún, contaminando y liberando metano a la atmósfera, el cual es un gas de efecto invernadero potencial. Si estos materiales orgánicos fueran concentrados en reactores anaerobios habría suficiente energía para cocinar o incluso usando motores que operan con gas metano y los entornos pecuarios serían autosuficientes. El metano al ser consumido por un motor o quemado simplemente, es transformado en dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero que es 24 veces menor en potencial que el metano (Castro-González, 2010).

Hoy día existen sistemas encargados de sensar múltiples variables enfocadas en procesos anaerobios. Estos productos pueden contener tan complejas y múltiples funciones que a final de cuentas no encajan o salen sobrando en la verdadera aplicación a realizar. De esta forma llegan a costar hasta miles de dólares, pues son sistemas de importación. Es por esta necesidad que surge la inquietud de realizar sistemas de sensado hechos a la medida y conforme a los requerimientos del sistema. Pues se habla de sistemas que difícilmente se encuentran o se fabrican en el mercado mexicano y a cambio de esto se compran marcas extranjeras que pueden llegar a ser muy costosas.

La supervisión y el control en estos reactores son estrategias importantes para alcanzar una mejor estabilidad del proceso y altas eficiencias de conversión. Si se llega a carecer de indicadores que muestren la evolución de su comportamiento

da lugar a un control limitado y una degradación anaerobia que puede disminuir o desaparecer, desequilibrando una o múltiples etapas. Sin dejar de lado, que un aumento en la presión puede ocasionar posibles explosiones y concentraciones mal controladas (Boe y col., 2010).

En esta tesis se abordará como es que un sistema de sensado electrónico puede ser hecho justo a la medida, de acuerdo a las necesidades que el sistema requiere, proporcionando las facilidades de mantenimiento y costos de producción bajos. Este sistema será capaz de proporcionar mediciones de interés, entre las más importantes destacan temperatura, pH, nivel, porcentaje de metano, presión, fugas etc., pues de estas variables depende la supervivencia de las bacterias encargadas de descomponer desechos orgánicos y convertirlos en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).

Por medio de la ayuda de sensores, transductores y dispositivos electrónicos digitales y analógicos, se logrará hacer un sistema confiable, con buena precisión y compacto, en donde su mantenimiento no necesite de manos especializadas y cualquier usuario pueda manejarlo. De esta forma los datos podrán ser adquiridos, analizados, interpretados y almacenados, pues son la fuente para un buen control, manejo e incluso seguimiento de como varía la producción de biogás de acuerdo a diferentes cargas orgánicas y diferentes compuestos.

OBJETIVOS

- 1) Diseñar un sistema de sensado electrónico para un prototipo de reactor anaerobio, empleando la electrónica como parte fundamental en la elaboración.
- 2) Determinar la reducción en costos, instalación y diseño haciendo un sistema de sensado electrónico a la medida, para una aplicación urbana.
- 3) Aplicar la propuesta a una planta de biogás instalada en Ciudad Universitaria.

Objetivo general: Diseñar y construir un prototipo para el sistema de sensado de la operación de una planta de biogás instalada en ciudad universitaria – Parte1.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1 ENERGÍAS RENOVABLES E IMPORTANCIA DEL BIOGÁS

Al hablar de energías renovables se refiere, en pocas palabras, a que éstas son una fuente de energía inagotable. Recientes estudios mencionan que las fuentes de energía fósiles terminarán agotándose en el transcurso del siglo XXI, es por eso que se buscan nuevas formas de abastecer a la creciente población de todo el mundo.

La búsqueda de nuevas fuentes de energía es una necesidad a la cual el ser humano está obligado a investigar y usar de la mejor manera. Las principales fuentes de energías no renovables como el petróleo, gas natural y sus derivados son los que producen en mayor cantidad desechos que incrementan la contaminación alrededor del planeta, produciendo gases de efecto invernadero (GEI) y sobre todo deteriorando la capa de ozono. En la Figura 1.1 se muestra cómo ha ido evolucionando la temperatura, la cual es ocasionada por el incremento en la producción de gases de efecto invernadero. Recientes estudios revelan que el impacto en el medio ambiente de las energías no renovables es de hasta 30 veces superior que las energías renovables. Pues estas energías no renovables tienen las desventajas de producir lluvia ácida, gases que incrementan el efecto invernadero y residuos radiactivos peligrosos (en el caso de las centrales nucleares).

Las energías renovables juegan un papel importante para el medio ambiente y la sociedad. Entre las energías renovables se puede encontrar entre las más destacadas las energías eólica, solar, geotérmica, biomasa, mareomotriz, hidráulica y biogás.

La gran importancia del biogás es que éste se puede obtener de residuos orgánicos, es decir, de los desperdicios diarios de los hogares, las aguas residuales, desechos fecales, desperdicios de cosechas, cáscaras de frutas, hasta desperdicios textiles y la lista crece.

Actualmente los residuos de la agricultura y el estiércol de ganado en áreas rurales son usados como combustible e incluso para calentar alimentos. Esta práctica que se califica como derrochadora pues apenas 9-12% de ese valor de combustible es usado, sin dejar de lado que el humo producido es dañino para la salud y que la acumulación de estos productos, sobre todo el estiércol de ganado, es un foco de infección que aumenta en tiempo de lluvias y en zonas de calor se difunde en el aire.

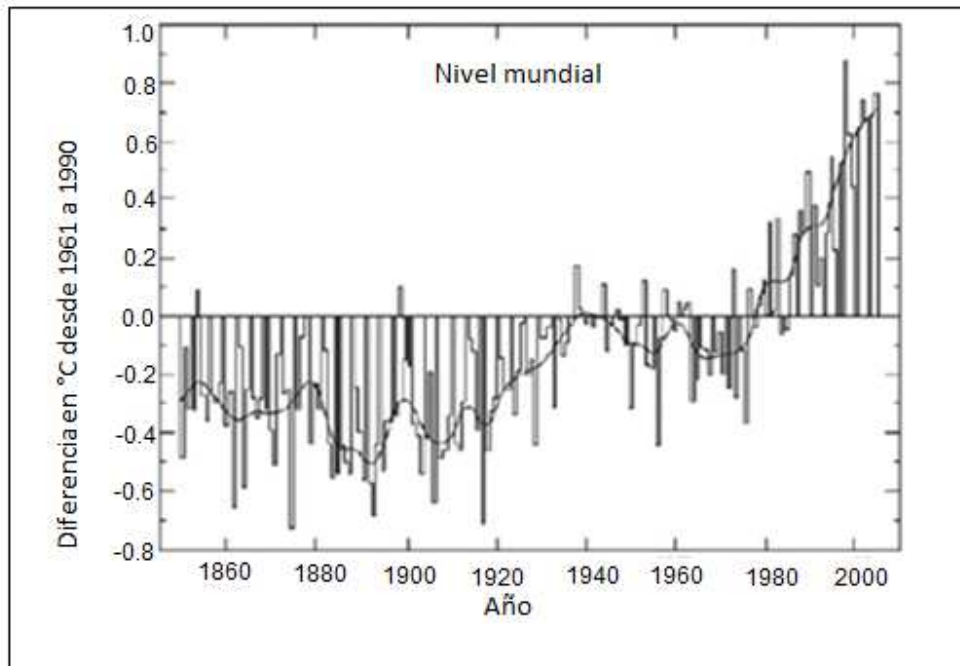


Figura 1.1 Aumento de la temperatura a nivel mundial por GEI (IPCC, 2007)

El biogás ayuda a eliminar la histórica práctica de calentar estiércol de ganado y usarlo como combustible, considerando que el estiércol está entre solo algunos de la infinidad de elementos orgánicos que se pueden usar para generar biogás. Es una forma limpia y eficiente de obtener combustible para propósitos de cocina, generación de electricidad, generación de movimiento en motores etc. También reduce en gran forma la tala indiscriminada de árboles para usarlos como combustible, y en consecuencia, reduce la erosión de los suelos.

El biogás es un medio eficaz para la disposición sanitaria de excreciones humanas y animales, abarcando aún así lugares en sequía, logrando cosas inimaginables, lo cual es generar energía en base a desperdicios humanos o animales. Ésto arreglaría el gran problema de la disposición inútil que por años se lleva haciendo de los desperdicios y que generan focos de infecciones, plagas y contamina el medio ambiente en agua suelo y aire. Sin dejar de lado, que en el proceso para generar biogás muchas de las bacterias causantes de infecciones son eliminadas y el material procesado está libre de malos olores. Las bacterias patógenas en su mayoría son aerobias y mueren dentro de los sistemas anaerobios (sin oxígeno).

El biogás es considerado un mejor combustible ambiental que el gas natural y el petróleo debido a que no contiene sulfuro (S), pues al quemar estos dos últimos, se produce dióxido de sulfuro (SO₂), el cual es causante de muchos males pulmonares. Otra ventaja es que el peligro de generarse una explosión en un

generador de biogás es bajo, pues este contiene dióxido de carbono (CO_2), el cual actúa como el gas de un extinguidor (Khandelwal y Mahdi, 1993).

1.2 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS ORGÁNICOS EN MÉXICO

De acuerdo con estadísticas emitidas por la SEMARNAT, la cantidad de residuos sólidos urbanos de tipo orgánico generados en México en el año 2008, fue de 19,707.30 miles de toneladas. Lo cual representa el 52.42 % del total de residuos sólidos generados. En contraste con lo anterior se tiene que en México, se recicla solo el 15% de residuos sólidos, a pesar de que se tiene un potencial de 47%.

La problemática de la generación de dichas cantidades de residuos sólidos, es obvia, un claro ejemplo es el espacio insuficiente para estos desperdicios, sin dejar de lado los gases que estos desechos producen (CH_4 y CO_2 en mayor cantidad) y que contribuyen al efecto invernadero. Un ejemplo que ayuda a entender este problema es el Bordo Poniente catalogado como uno de los más grandes del mundo, el cual recibe 13,000 toneladas al día, de los cuales aproximadamente del 40% al 50% de los mismos son de tipo orgánico.

En México, se estima que el 87% del CH_4 emitido a la atmósfera es generado por residuos sólidos, pero lo alarmante de esta situación es el hecho de que el gas metano contribuye 24 veces más al efecto invernadero que el dióxido de carbono (CO_2). Por lo cual es importante capturar este exceso en metano y transformarlo en CO_2 o mejor aún, aprovecharlo para generar energía. Hay características muy importantes que se deben de contemplar en los residuos orgánicos tales sirven para llevar un mejor control de estos.

El peso específico se define como el peso de un material por unidad de volumen (por ejemplo Kg/m^3). Los datos sobre el peso específico a menudo son necesarios para valorar la masa y el volumen total de los residuos que tiene que ser gestionados. El contenido de humedad de los residuos normalmente se expresa de dos formas.

En el método de medición peso-húmedo, la humedad de una muestra se expresa como un porcentaje del peso del material húmedo; en el método peso-seco, se expresa como un porcentaje del peso del material seco. La Tabla 1.1 muestra los diferentes intervalos sobre peso específico y contenido de humedad que presentan los desechos orgánicos más comunes (Huerta-Gallegos, 2010).

Tabla 1.1 Datos sobre peso específico y contenido de humedad para residuos orgánicos, domésticos, comerciales, industriales y agrícolas (Kaiser, 1966; Neissen, 1977)

TIPO DE RESIDUO	INTERVALO Peso especifico [kg/m ³]	TÍPICO Peso especifico [kg/m ³]	INTERVALO Contenido en humedad (porcentaje en peso)	TÍPICO Contenido en humedad (porcentaje en peso)
DOMÉSTICOS NO COMPACTADOS				
Residuos de comida (mezclados)	131-481	291	50-80	70
Residuos de jardín	59-255	101	30-80	60
RESIDUOS DE JARDÍN DOMÉSTICOS				
Hojas (sueltas y secas)	30-148	59	20-40	30
Hierba verde (suelta y húmeda)	208-297	237	40-80	60
Hierba verde (húmeda y compactada)	293-831	593	50-90	80
Residuos de jardín (triturados)	267-356	297	20-70	50
Residuos de jardín (compost)	267-386	326	40-60	50
COMERCIALES				
Residuos de comida (húmedos)	475-950	540	50-80	70
Podas de arboles	101-181	148	20-80	5
AGRÍCOLAS				
Agrícolas (mezclados)	400-751	561	40-80	50
Animales muertos	202-498	359	*	*
Residuos de frutas (mezclados)	249-751	359	60-90	75
Estiércol (húmedo)	899-1,050	1,000	75-95	94
Residuos de vegetales (mezclados)	202-700	359	60-90	75

El método peso-húmedo es más usado en el campo de la gestión de residuos. En forma de ecuación, el contenido de humedad se expresa:

$$M = [(W*d) / W] * 100 \quad (1.1)$$

Donde:

M: Contenido de humedad

W: Peso inicial de la muestra según se entrega [kg]

d: Peso de la muestra después de secarse a 105°C [k g]

Hoy en día existen distintas alternativas en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos tales como tratamiento mecánico, gasificación y pirólisis. Estos métodos de tratamiento tienen como requerimiento esencial que la materia tenga una humedad mínima, lo cual es un inconveniente, pues gran parte de estos residuos contienen aproximadamente 30% de humedad. Por esta razón no se pueden usar en los métodos de tratamiento a menos de que se les aplique un proceso de secado a los residuos. Es por esta razón que la degradación anaerobia es el proceso que mejor se adecua a las necesidades de este tipo de materia (Tchobanoglous y col., 1994).

1.3 DESECHOS PECUARIOS MÁS UTILIZADOS EN MÉXICO

De los proyectos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) que existen en México, la destrucción de metano que se produce en granjas de cerdo domina el paisaje con 56% de proyectos desarrollados y 49% de los certificados de reducción de emisiones que serán generadas dentro del país para el 2012.

En el ámbito internacional, los avances logrados ubican a México en el cuarto lugar por el número de proyectos registrados, en el quinto lugar por el promedio anual de reducción en la emisión de gases de efecto invernadero, y en el quinto lugar por las reducciones certificadas de emisiones (RCE) obtenidas.

La Tabla 1.2 muestra proyectos que han sido programados para el beneficio de México, por medio del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Mientras que la Tabla 1.3 muestran el tipo de proyectos en México que cuentan con cartas de aprobación. Actualmente México tiene 32 proyectos MDL registrados ante la Junta Ejecutiva del MDL, con una reducción de emisiones esperada de 3.3 millones de toneladas de CO₂equivalente.

Tabla 1.2 Resumen de proyectos MDL y programados, por categoría y etapa al 31 de diciembre de 2010 (SEMARNAT, 2010)

Proyectos MDL por categoría	Reducción certificada de emisiones de proyectos registrados		Proyectos registrados ante la junta ejecutiva del MDL.		Proyectos con carta de aprobación que no han sido registrados		Anteproyectos con carta de no objeción que no tienen carta de aprobación.	
	No.	tCO ₂ e	No.	tCO ₂ e/año	No.	tCO ₂ e/año	No.	tCO ₂ e/año
Distribución de electricidad	0	0	0		0	0	1	266,535
Eficiencia energética	1	120,859	3	265,678	8	420,055	37	13,453,473
Emisiones de gases industriales	1	4,789,363	2	2,540,280	1	102,592	4	800,773
Emisiones fugitivas de metano	0	0	1	82,645	1	89,841	3	768,305
Eólica	3	174,928	8	2,434,730	12	2,675,710	5	1,133,206
Geotérmica	0	0	0		1	75,812	2	174,684
Hidroeléctrica	3	244,574	3	118,844	8	761,791	22	3,111,509
Manejo de residuos en establos de ganado vacuno	1	3,273	17	160,441	7	279,881	1	32,000
Manejo de residuos en granjas porcícolas	24	1,364,384	74	2,253,434	21	662,985	4	308,925
Mareomotriz	0	0	0		0	0	3	47,500
Reforestación- Forestación	0	0	0		0	0	5	971
Reinyección de gas amargo en pozos petroleros	0	0	0		0	0	1	22,549,810
Relleno sanitario	2	227,388	15	1,905,528	14	1,569,578	19	3,240,734
Solar	0	0	0		0	0	3	155,189
Sustitución de combustibles	0	0	1	47,043	6	377,168	3	189,381
Transporte	0	0	0		4	294,948	1	55,102
Tratamiento de aguas residuales	0	0	1	15,153	4	109,930	3	916,906
Cogeneración	0	0	0		0	0	11	2,874,846
Subtotal proyectos	35	6,924,769	125	9,823,776	87	7,420,290	128	51,050,369
Eficiencia energética	0	0	1	24,283	1	10,744	2	905,364
Transporte	0	0	0		0	0	1	170,000
Subtotal programáticos	0	0	1	24,283	1	10,744	3	1,075,364
Total general	35	6,924,769	126	9,848,059	88	7,431,034	131	52,125,733

Tabla 1.3 Proyectos mexicanos de MDL con cartas de aprobación (SEMARNAT, 2010)

Tipo de proyectos	Núm. proyectos	Ubicación	Reducción de CO ₂ equivalente [KTons/año]	Comprador de bonos de carbono.
Manejo de residuos en granjas porcícolas	88	AGS., CHIH., CHIS., COAH., DGO., EDO., MEX., GTO., JAL., MICH., NL., NAY., PUE., QRO., SIN., S.J.P., SON., OAX., TAMPS., VER y YUC.	2,507	AgCert, EcoSecurities, Grupo porcícola Mexicano.
Manejo de residuos en establos de ganado vacuno	55	AGS., B.C., CHIH., COAH., GTO., DGO., JAL., N.L., PUE., QRO., SIN y TLAX.	983	AgCert, Environmental Energy & Engineering Co., CantorCO ₂ e
Metano de rellenos sanitarios	14	AGS., B.C CHIH., DGO., EDO., MEX., GTO., JAL., MOR., N.L., YUC y SIN.	1,968	SIMEPRODE, Promotora Ambiental S.A.B de C.V., BENLESA, EcoSecurities, ETEISA
Manejo de aguas residuales	3	SON., OAX y PUE.	36	AgCert, SPCAM, Empacadora San Marcos S.A. de C.V.
Energía eólica	8	B.C Y OAX.	2,264	CFE, GAMESA energía, Eoliatic, PEM, CEMEX.
Hidroeléctricos	5	GRO., JAL., MICH., OAX y VER.	191	PROENERMEX, MEXHIDRO, Hidroelectricidad del Pacifico S. de R.L. de C.V., Electricidad del Istmo S.A. de C.V.
Incineración HFC-23	1	N.L	2,155	Quimobásicos S.A. de C.V.
Mitigación de N ₂ O en la industria química	1	VER.	103	Químicas para el Campo y la Industria, S.A. de C.V.
Cogeneración y eficiencia energética	11	B.C., COAH., EDO. MEX., HGO., JAL., MICH., N.L., PUE., SIN., S.L.P., SON., TAB., TAMPS., Q. ROO., VER., y YUC.	696	Grupo Petromex, La costeña S.A de C.V., Ingenio El Dorado S.A. de C.V., CEMEX, DNMX, BSM
Emisiones fugitivas	2	COAH y VER.	665	MIMOSA, PEMEX exploración y producción
Transporte	1	D.F.	24	GDF
Total	189	-	11,592	31

México tiene una industria bien desarrollada del cerdo que se han capitalizado en los ingresos procedentes del protocolo de Kyoto del Mecanismo de Desarrollo Limpio. Este mecanismo que es supervisado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), permite el desarrollo, anexando a países que tienen confirmado el protocolo para hacer reducción de emisiones.

Las granjas en México pueden ser una fuente fundamental para el desarrollo pues ninguna ha avanzado al tratamiento formal de aguas residuales para el excremento del cerdo. Algunas solamente optan por el derrame inútil directamente en los canales. Otros permiten que se acumule en lagunas generando focos de infección y desperdiciando el enorme potencial para generar energía, desde la posibilidad de generar metano a partir de estos desechos es como se presentó una oportunidad para el desarrollo del proyecto (Lokey, 2009).

Las granjas que no contaban con lagunas, lanzan simplemente el excremento en el canal local y no eran elegibles para el desarrollo del proyecto puesto que se perdían sus propiedades y al entrar en contacto en el canal móvil es oxigenado.

De todo el proyecto de (MDL) en México, el 56% implica la captura del metano de granjas de cerdo y estos proyectos constituyen el 49% de las reducciones de emisiones del país, esto se planea generar antes del 2012. Estas reducciones de emisión, conocidas como reducciones de emisión certificadas (CERs). México también se ha beneficiado de más proyectos de la captura del biogás que cualquier otro país en la región, con 11,000 CERs que será derivado de su competidor más cercano, Brasil, antes de 2012.

México se ha beneficiado por varias razones. Hay gran número de granjas de cerdo con gran potencial debido a su cantidad para hacer un digestor viable. También la mayoría de las granjas de cerdo pertenecen a un grupo de granjas de un mismo dueño como es el caso de Granjas Carroll México (GCM) y Socorro Romero Sánchez. Facilitando así la comunicación y facilidad para liar varios reactores anaerobios con el mismo dueño y comunicación con la granja.

El funcionamiento de estos digestores se explica a continuación. El excremento o la sangre de un matadero caen o se barren en orificios que son enviados por la gravedad a una bomba o un contenedor con tamaño suficiente. Aquí el excremento se recoge y se acumula durante 30 días aproximadamente en un contenedor plástico generalmente. Dependiendo de la densidad del excremento, las paredes plásticas son algunas veces colocadas adentro del reactor para retardar el movimiento del excremento en el proceso de modo que se produzca el suficiente metano.

Después de que el metano es recolectado, se lleva por medio de tuberías hacia un quemador, donde este metano es transformado a dióxido de carbono, un gas de efecto invernadero que es 24 veces menos potente que el metano. De esta forma se reduce en gran forma la creciente producción de Gases de Efecto Invernadero (GEI). La Figura 1.2 muestra la creciente producción de emisiones de gases de efecto invernadero, explicando su aumento en los recientes años.

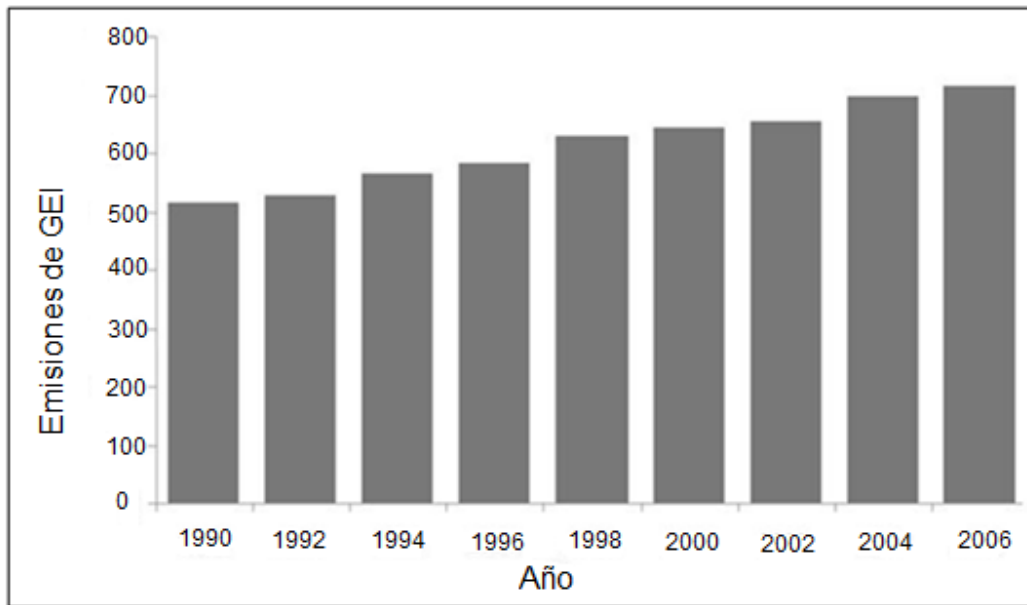


Figura 1.2 Evolución de emisiones de GEI en México (SEMARNAT, 2006)

En México los sistemas de presión positiva se utilizan generalmente para atrapar el metano. En estos sistemas, una burbuja de metano es formada en la parte superior del contenedor. En los contenedores de presión negativa que son usados más comúnmente en Brasil, la cubierta plástica toca el excremento y no forma una burbuja de metano en la parte superior del contenedor. Una vez producido el metano fluye a través de tuberías.

Este sistema aparentemente simple, es relativamente una nueva tecnología que se ha ejecutado en varios lugares del mundo desde la India a los Estados Unidos. Sin embargo, cada reactor es diferente debido a la diversidad de animales que contribuyen a su contenido y a la locación. Por lo tanto, cada sistema se debe considerar individualmente para asegurar un funcionamiento apropiado. Los requisitos básicos para el diseño de un reactor anaerobio es que cuente con una carga orgánica continua, un tiempo de retención hidráulica adecuado (que dimensiona el reactor) y para producir el máximo volumen de metano en el biogás (CH_4).

En la construcción del reactor se debe de contemplar la acumulación de la mezcla y la pérdida de calor. Por esa razón, algunos de los reactores son subterráneos y contruidos por bloques de cemento facilitándose su construcción en forma cuadrada o rectangular. Esto causa que el flujo sea limitado en las esquinas, llevando a la acumulación de material lo cual no es óptimo, pues esto reduce el volumen eficaz del digestor en un cierto plazo y también aumenta el mantenimiento y el tiempo muerto.

Hay diversos tipos de reactores funcionando hoy en día, en donde su diseño guarda relación con el material que será digerido, estos se dividen en 3 grupos principales:

- 1) Los reactores de una etapa, que de acuerdo a la cantidad de material que se digerirá, son llenados por la materia prima y se dejan por un periodo o tiempo de retención hidráulica y después se vacía.
- 2) Sistemas que constan de una única etapa y son continuamente alimentados. Todas las reacciones bioquímicas tienen lugar en el reactor.
- 3) Sistemas de dos etapas e incluso múltiples etapas. El reactor es continuamente alimentado y los procesos de hidrólisis/acidificación y acetogénesis/metanogénesis son separados.

Los reactores multi-etapas generalmente son de dos etapas. Un sistema de multi-etapa puede mejorar la estabilidad del proceso frente a sistemas con una sola etapa, especialmente cuando se digiere materias primas hidrolizables (Bouallagui y col., 2005; Mata-Álvarez, 2002).

Los residuos sólidos en los digestores son también divididos en tipo húmedo y tipo seco. Los reactores húmedos son aquellos en los cuales su valor total de sólidos es menor a 16%, mientras que los reactores secos tienen un valor total de sólidos entre 22 y 44%. La tecnología de reactores secos se usa principalmente con residuos sólidos municipales o desechos vegetales usados aún más que el estiércol (Mata-Álvarez, 2002). Una etapa de reactores para desechos sólidos municipales en Europa son igualmente divididos entre reactores húmedos y secos (De Baere, 2000).

En adición al diseño básico sobre el reactor, el contenido de la mayoría de los reactores anaerobios es mezclado a fin de garantizar la transferencia de material orgánico por la biomasa microbiana activa, así se liberan burbujas de gas atrapadas en el medio y se previene la sedimentación de partículas de material denso.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS

2.1 SISTEMAS ANAEROBIOS

Caracterizados principalmente por que se llevan a cabo en ausencia de oxígeno. Este tipo de sistemas cumplen con ciertas condiciones para llevar a cabo este proceso anaerobio. Los microorganismos se pueden generar de forma natural o en forma de inóculo, es decir, introduciendo a propósito estos microorganismos. Este tipo de microorganismos se alimentan principalmente de sustancias de origen orgánico cumpliendo con los principales procesos de producción de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y ácidos grasos volátiles. A esta mezcla de metano (CH_4) con dióxido de carbono (CO_2), se le da el nombre de biogás (Feitkenhauer y Meyer, 2004).

Este proceso involucra la acción combinada de cuatro grupos de bacterias, en cuatro pasos diferentes. El primer paso es la degradación de sustancias con alto peso molecular como celulosa, almidón, proteínas, grasas, etc., las cuales están presentes en materiales de origen orgánico. Estas pasan a ser compuestos con pequeño peso molecular, tales como los ácidos grasos, aminoácidos, dióxido de carbono (CO_2) e hidrógeno (H), causado bacterias hidrolíticas.

En el segundo paso, los productos finales del primer proceso son convertidos en acetato e hidrógeno (H) por las bacterias acetogénicas. Una tercera etapa es llevada a cabo por organismos conocidos como las bacterias homoacetogénicas que convierten el hidrógeno y compuestos simples de carbono a acetato producidos en el primer y segundo paso del proceso. El cuarto paso es la conversión de acetato en algunos otros compuestos simples como el formiato, el dióxido de carbono e hidrógeno en metano. Ésto es causado por un grupo único de organismos conocidos como metanogénicos que forman parte de la estructura del reactor mostrado en la Figura 2.1.

De esta forma el metano siendo más ligero que el aire, se ubica en lo alto del reactor anaerobio. De esta manera puede ser recogido y usado para varios propósitos. Gracias a esta nueva fuente de combustible, se puede obtener una forma de energía, la cual es más económica para iluminación, funcionamiento de motores e incluso para cocinar, sin dejar de lado, que no contamina y produce una mejor calidad de abono.

En las Figuras 2.1 y 2.2 se muestran dos reactores anaerobios explicando las partes fundamentales que los componen y señalando como es la introducción de mezcla y la producción de biogás. Hoy en día, todos los reactores anaerobios tienen este mismo principio y estructura (Khandelwal y Mahdi, 1993).

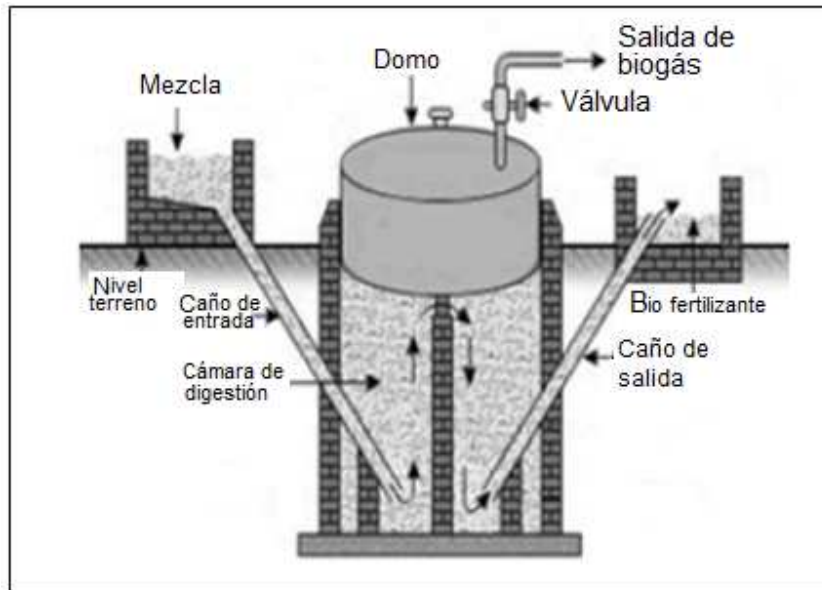


Figura 2.1 Reactor anaerobio tipo indio (Khandelwal y Madhi, 1993)

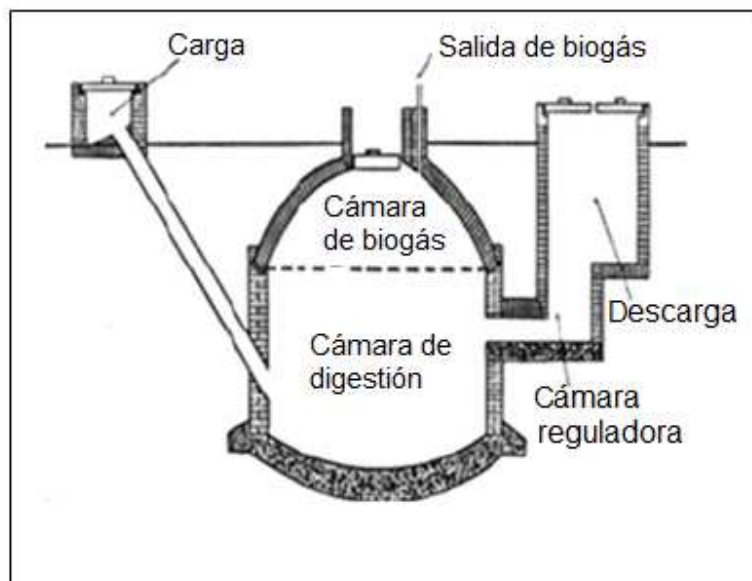


Figura 2.2 Reactor anaerobio tipo chino (Khandelwal y Madhi, 1993)

2.2 DEGRADACIÓN ANAEROBIA

La degradación anaerobia es caracterizada principalmente por que se lleva a cabo en ausencia de oxígeno. En base a esta degradación se puede obtener una mejor fuente de combustible por medio del biogás, aprovechándose del fenómeno de descomposición biológica de materiales orgánicos, en donde están involucradas bacterias con diferentes características y funciones.

HIDRÓLISIS

En la etapa de la hidrólisis se degrada el material orgánico insoluble y compuestos de peso molecular elevado tales como lípidos, polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos, en sustancias orgánicas solubles (por ejemplo, aminoácidos y ácidos grasos). Los componentes formados durante la hidrólisis son fracturados a moléculas de menor tamaño en la etapa de acidogénesis (Valdés-Bustamante, 2010).

ACIDOGÉNESIS

En esta segunda etapa los ácidos grasos volátiles son producidos por las bacterias acidogénicas (o fermentantes) junto con el amoníaco (NH_3), dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S) y otros subproductos (Valdés-Bustamante, 2010).

ACETOGÉNESIS

Conocida como la tercera etapa de la degradación anaerobia, donde los ácidos orgánicos y los alcoholes más altos producidos por la acidogénesis son digeridos a moléculas más pequeñas por las bacterias acetogénicas para producir principalmente el ácido acético así como el CO_2 y H_2 . Esta conversión es controlada en gran parte por la presión parcial de H_2 en la mezcla (Valdés-Bustamante, 2010).

METANOGÉNESIS

Conocida como la etapa final, la cual produce el metano por dos grupos de bacterias metanogénicas: El primer grupo bacteriano de esta etapa fracciona al

acetato en metano y en dióxido de carbono, el segundo grupo utiliza hidrógeno como donante de un electrón y el dióxido de carbono como aceptor para producir metano. La Figura 2.3 ilustra las etapas de hidrólisis, acidogénesis y acetogénesis, por medio de bloques, se explica cómo es que trabajan conjuntamente para producir biogás (Valdés-Bustamante, 2010).

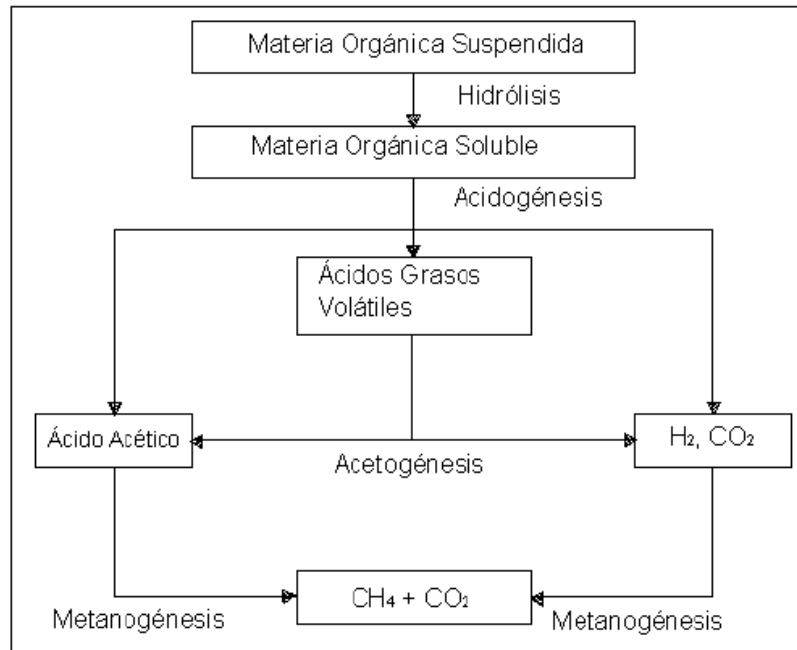


Figura 2.3 Etapas en el proceso de degradación anaerobia (Valdés-Bustamante, 2010)

2.3 PARÁMETROS DE CONTROL EN UN SISTEMA ANAEROBIO

Cuando se habla de un sistema anaerobio se habla también de un sistema biológico el cual, como cualquier ser con vida, cuenta con ciertas características para su reproducción, crecimiento y subsistencia. Uno de los factores importantes para este tipo de sistemas es la temperatura, pues determina la forma en que los microorganismos transforman los desechos orgánicos, es decir, acelerando o alentando el proceso.

Un cambio brusco en la temperatura puede producir que algunos microorganismos mueran reduciendo su población y produciendo que el fenómeno de degradación anaerobia tarde más tiempo. Se debe de mantener una temperatura estable para lograr un conteo con microorganismos en buen estado. La Figura 2.4 ilustra el tipo de bacterias y los nombres que reciben de acuerdo a la temperatura en que estas subsisten.

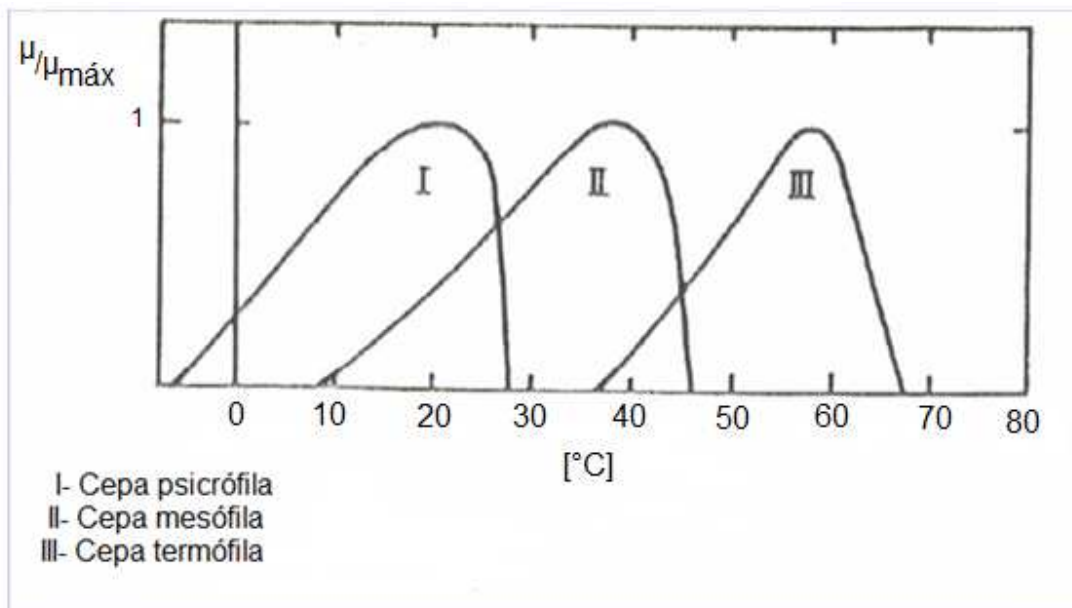


Figura 2.4 Intervalo de temperatura para bacterias psicrófilas, mesófilas y termófilas (Castro-González, 2010)

Otro parámetro importante es la regulación del pH, pues es el encargado de que las múltiples bacterias que conforman diferentes etapas de procesos se lleven a cabo, tales como la acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Si el pH sale de un intervalo estable puede inhibir determinadas bacterias, provocando así un mal funcionamiento y mala degradación en el proceso anaerobio. Es aquí en donde entra la alcalinidad del sistema que controla las variaciones del pH.

Si el pH no fuera neutro como para trabajar en un intervalo de estabilidad para el sistema, por introducción de sustancias alcalinas se puede lograr el nivel de pH adecuado. El contenido de nutrientes también es de gran importancia en el sistema, pues tiene un efecto significativo sobre la supervivencia de las bacterias. Los compuestos tóxicos en un sistema anaerobio generan efectos perjudiciales para el proceso de digestión que llevan a cabo las bacterias, pues no todas pueden sobrevivir a altos índices de toxicidad.

El intervalo óptimo del pH es entre 6 y 8. Con la temperatura y el pH se puede controlar el crecimiento de la población microbiana.

2.4 IMPORTANCIA DEL SENSADO EN SISTEMAS BIOQUÍMICOS

El tratamiento de un proceso bioquímico contiene muchas características de importancia, entre las que más destacan están las fermentaciones aerobias las que se llevan a cabo al tratar aguas residuales y abonos orgánicos. Por otro lado, las anaerobias son las que generan biogás en un digestor, el cual es alimentado

con lodos, residuos agropecuarios o urbanos produciendo en su mayoría dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄).

Así también hay operaciones que producen biocombustibles alcohólicos a partir de residuos de la industria agroalimentaria, en si, por medio de la fermentación de residuos orgánicos se pueden obtener productos útiles. En este tipo de procesos se interviene favoreciendo el crecimiento de determinados microorganismos a partir de las condiciones físicas y químicas que regulan su crecimiento, subsistencia y comportamiento.

Entre las más importantes, más no las únicas, se encuentra la temperatura y pH. Éstas son las que intervienen directamente con la subsistencia de los microorganismos presentes en el proceso bioquímico y son los encargados de transformar residuos biológicos en productos útiles. Por eso es conveniente un control adecuado para factores de gran importancia y que están presentes en todo este proceso, pues en ausencia o deterioro de los microorganismos no se puede llevar a cabo ninguna transformación de residuos orgánicos.

Al tener un buen sistema de sensado es muy fácil adquirir, analizar, interpretar y almacenar las mediciones hechas por un sistema. Una gran ventaja es que al utilizar un sistema de sensado electrónico, éste se puede elaborar de acuerdo a las necesidades que el proceso va a realizar obteniendo su máxima eficiencia sin dejar de lado que su costo es muy bajo y su mantenimiento no es tan frecuente pues no requiere manos especializadas. Por otro lado, si se desea adquirir un equipo con características similares puede exceder o carecer en las mediciones del sistema que está sensando, sin dejar de lado que su costo es extremadamente alto (Feitkenhauer y Meyer, 2004).

2.5 PROBLEMÁTICA PRESENTADA EN LA OPERACIÓN DE REACTORES ANAEROBIOS POR LA EXCLUSIÓN DEL SENSADO

La degradación anaerobia ha ganado el interés de la comunidad científica e industrial para el tratamiento de aguas residuales, pues tiene la propiedad de reducir materia orgánica de los efluentes industriales y municipales. Mientras que tiene costos de inversión muy bajos, requisitos de espacio pequeños y con la ventaja de producir energía neta a partir del biogás. Sin embargo su uso extenso se ha limitado, debido a las dificultades que implican la realización y operación eficiente de los múltiples procesos y variantes que se involucran en la degradación anaerobia.

Estos procesos necesitan contar con un sistema que proporcione un censo acerca del funcionamiento en el proceso de degradación anaerobia, pues es un proceso que al descuidar determinados factores se puede volver inestable. Tal es el caso

de las variables de entrada como índice de corriente hidráulica y la carga orgánica. Éstos pueden llevar al sistema a un estado donde desaparece la vida bacteriana. Este fenómeno ocurre bajo forma de la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) que sobrepasa el límite de los protones que descomponen los bicarbonatos en fase líquida para producir dióxido de carbono (CO_2) (aumentando la composición en la fase de gas) y reduciendo el pH en el digestor (Méndez-Acosta y col., 2010).

Por esta razón, el pH se puede usar como un indicador de la estabilidad del proceso en donde su intervalo óptimo de operación es entre 6 y 8. Para lograr que el sistema tenga un comportamiento adecuado se debe de saber que el biogás puede causar explosiones provocadas por el metano, su componente principal, el cual tiene los siguientes niveles de explosión (proporción en volumen con aire):

- Nivel bajo de explosión 5.4%
- Nivel alto de explosión 13.9%

Considerando que en la composición del biogás, el metano está entre 60 y 70%, los niveles de explosión aumentan a:

- Nivel bajo de explosión 9.0%
- Nivel alto de explosión 23.0%

El biogás puede ser asfixiante cuando hace que el oxígeno del aire baje a 17.3%, y si llega a 13% es realmente sofocante. También si en la composición del biogás se tiene monóxido de carbono (CO) en proporción de 0.1%, es fatal en 4 horas y si la proporción de ácido sulfhídrico (H_2S) es de 0.6% es fatal en menos de media hora. Por estas razones se debe de tener un control adecuado y a la medida capaz de identificar las posibles fugas que se puedan presentar en los reactores anaerobios, pues podrían afectar a personas, animales y sus alrededores en general si existieran fugas de biogás. El cuidado de una explosión se previene también cuidando que no haya flamas, brasas, cigarrillos o artefactos capaces de producir chispas en áreas cercanas a la degradación anaerobia, pues solo uno de estos factores basta para causar una explosión considerable (Huerta-Gallegos, 2010).

Al no contar con un sistema capaz de proporcionar mediciones se dificulta en gran forma la buena evolución y el seguimiento del sistema anaerobio, pues si se descarta el control de la temperatura la vida bacteriana puede disminuir e incluso desaparecer con cambios bruscos y oscilaciones en la temperatura, es decir, el sistema no estaría bien definido en un ambiente bacteriano de tipo psicrófilo, mesófilo o termófilo.

Monitorear y controlar es una estrategia importante para lograr una mejor estabilidad en el proceso y altas eficiencias de conversión en reactores anaerobios. La supervisión es un requisito para el proceso de control. La falta de indicadores adecuados da como resultado un escaso control y optimización de la degradación anaerobia. El indicador ideal debe reflejar el estado actual, ser sencillo y a la medida de acuerdo a las necesidades. Los indicadores más comunes en el proceso para producir biogás son: La producción de gas, composición del biogás, pH, alcalinidad y ácidos grasos volátiles (Hawkes y col., 1993).

La producción del biogás es el indicador más comúnmente supervisado, pues en él se refleja el proceso total. Sin embargo puede indicar también un mal estado en el proceso y a menudo la producción de biogás se reduce cuando algún proceso se daña, afectando en ocasiones a los demás procesos (Moletta y col., 1994).

2.6 TRANSDUCTORES

En los sistemas electrónicos es necesario que las señales sean eléctricas para que puedan ser procesadas. Es indispensable contar con un dispositivo capaz de captar las diferentes señales externas, como podría ser pH, presión, temperatura, etc., y convertirlas en una señal eléctrica útil para que pueda ser procesada por el sistema, aquí es donde entran en juego los transductores, que serán los encargados de realizar tal conversión.

Un transductor es un dispositivo que convierte una magnitud física a otra. En la Figura 2.5 se muestran los dos parámetros más importantes de un transductor, es decir, la señal de salida en respuesta a una determinada señal de entrada.

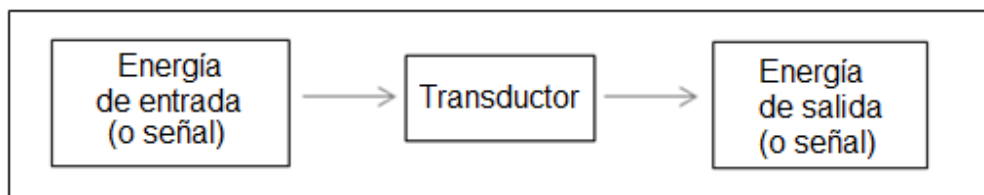


Figura 2.5 Diagrama a bloques de la función de un transductor (Barajas-Marroquín, 2009)

Un dato importante a conocer en un transductor es la respuesta de reacción (r), la cual se define como la respuesta del transductor a una determinada señal de entrada, por ejemplo en un transductor de desplazamiento las unidades serían V/m, también puede ser $\Omega/^\circ\text{C}$ para un termistor o V/ $^\circ\text{C}$ a la salida de un circuito conectado al termistor (Usher y Keating, 1996).

$$r = \frac{\text{señal de salida en respuesta a la entrada}}{\text{señal de entrada}} \quad (2.1)$$

2.6.1 TIPOS

2.6.1.1 TRANSDUCTORES DE POSICIÓN

Electromecánicos

Este tipo de transductores están formados por microrruptores, los cuales son elementos que funcionan como un pulsador, cuya función consiste en determinar la posición o el estado de alguna acción. Los tipos de contacto pueden ser NC (normalmente cerrado) y NA (normalmente abierto). Los sensores electromecánicos también están formados por finales de carrera o sensor de contacto, estos dispositivos son muy parecidos a los microrruptores a diferencia que en este caso, la detección se hace solamente en una dirección (Mayné, 2003).

Magnéticos

Lo forman detectores de proximidad magnéticos, que pueden ser los de efecto Hall y resistivos.

El efecto Hall ilustrado en la Figura 2.6, consiste en la aparición de una diferencia de potencial transversal en un conductor o semiconductor por el cual circula una corriente eléctrica cuando se aplica un campo magnético en dirección perpendicular a esta. En la fabricación de elementos Hall se emplean semiconductores en lugar de conductores, ya que se obtiene un voltaje Hall mayor debido a la menor conductividad de los semiconductores, además se puede controlar la movilidad de los portadores, agregando impurezas al semiconductor (2009; Mayné, 2003).

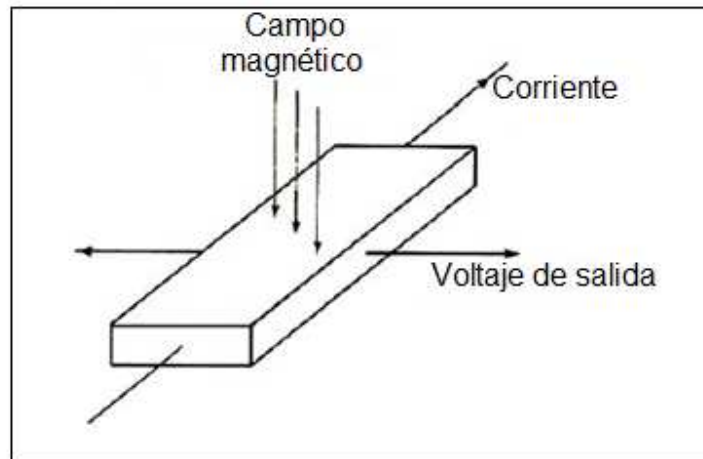


Figura 2.6 Efecto Hall (Barajas-Marroquín, 2009)

Inductivos

Lo forman los detectores de proximidad inductivos, los sincros y resolvers, los de Transformación Diferencial de Variación Rotatoria (TDVR) y Transformación Diferencial de Variación Lineal (TDVL). La Figura 2.7 ilustra las configuraciones más usadas para transductores de proximidad inductivos (Mayné, 2003).

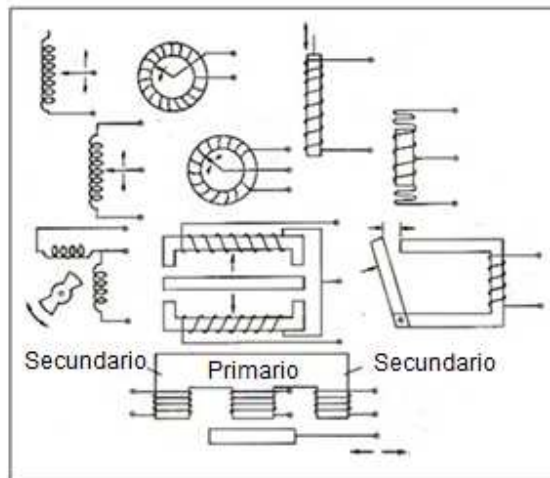


Figura 2.7 Algunas configuraciones de los sensores inductivos (Barajas-Marroquín, 2009)

Potenciómetros

Lo forman los potenciómetros lineales o circulares. Los lineales son usados más comúnmente para medir posición de distancia y circulares más comúnmente para posición angular. La Figura 2.8 ilustra físicamente como son los potenciómetros para posición angular (Mayné, 2003).

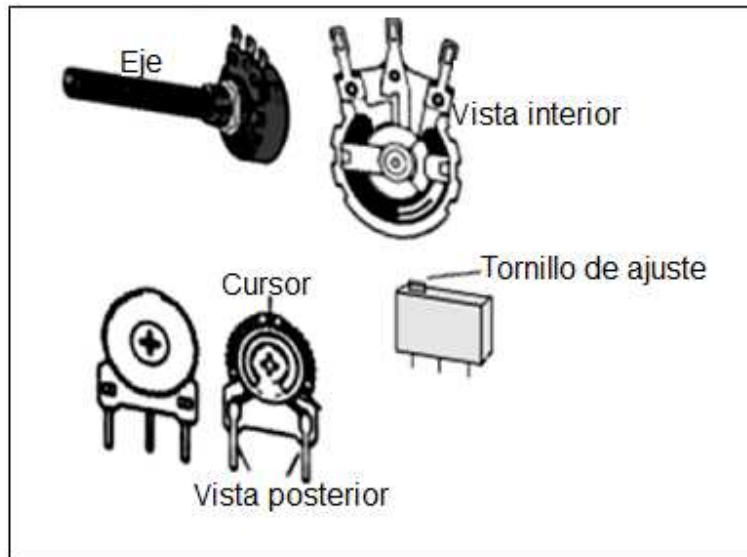


Figura 2.8 Potenciómetros circulares (Barajas-Marroquín, 2009)

Ópticos

Lo forman las células fotoeléctricas y los encoders, las fotoeléctricas cambian su conductividad dependiendo de la luz que incide sobre ellos, mientras que los encoders se usan comúnmente para transmitir pequeños pulsos de luz que atraviesan su estructura dentada (Mayné, 2003).

2.6.1.2 TRANSDUCTORES DE HUMEDAD

Transductores de humedad capacitivos

El transductor lo forma un condensador de dos láminas de oro como placas y como dieléctrico una lámina no conductora que varía su constante dieléctrica, en función de la humedad relativa de la atmosfera ambiente. El valor de la capacidad se mide como humedad relativa. Phillips se encarga de fabricar este tipo de sensores (Mayné, 2003).

Transductores de humedad resistivos

Un electrodo se encarga de sensar la humedad en el material. Además puede contar con un circuito acondicionador y un linealizador para dar una salida estándar. La Figura 2.9 ilustra cómo son físicamente este tipo de sensores, mientras que por medio de un diagrama a bloques se puede obtener una señal estable la cual cambia dependiendo de los cambios de humedad que el sensor presenta (Mayné, 2003; Barajas-Marroquín, 2009).

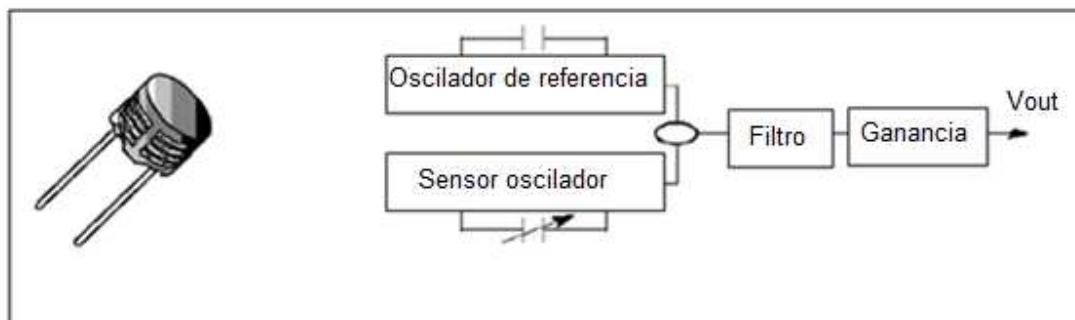


Figura 2.9 Diagrama a bloques de un transductor de humedad con acondicionador de señal (Mayné, 2003)

2.6.1.3 TRANSDUCTOR DE PRESIÓN

Transductores de presión resistivos

Ilustrados en la Figura 2.10 estos sensores se pueden encontrar en distintos tipos y para diferentes aplicaciones. Su modo de funcionamiento consiste en una presión que se ejerce sobre una membrana, la cual hace variar el valor de las resistencias montadas en un puente de Wheatstone. Las células de carga y las galgas extensiométricas son elementos metálicos que cuando se someten a un esfuerzo sufren una deformación de material, y por lo tanto una variación de su resistencia interna (Mayné, 2003).

Transductores de presión piezo-cerámicos/multicapa

La combinación de la tecnología piezo-cerámica y multicapa se utiliza para producir una señal eléctrica, cuando se aplica una fuerza mecánica en el sensor. La Figura 2.11 ilustra el punto en donde se aplica la fuerza y cómo es que esta fuerza cambia las propiedades eléctricas de este sensor (Mayné, 2003).

Transductor de presión con semiconductor

Una variación de presión sobre una membrana, hace actuar un único elemento piezo-resistivo semiconductor. Este comportamiento ilustrado en la Figura 2.12 muestra lo que sucede al ejercer presión sobre el sensor, una fina membrana contenida en este hace que cambien sus propiedades resistivas en 3 puntos diferentes. Motorola se encarga de fabricar sensores de presión los cuales incluye en la familia MPX (Barajas-Marroquín, 2009).

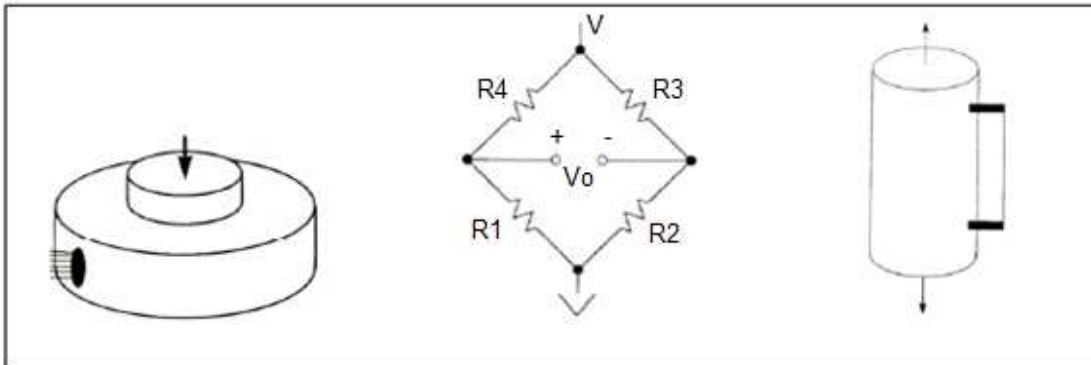


Figura 2.10 Distintos tipos de sensores de presión resistivos (Mayné, 2003)

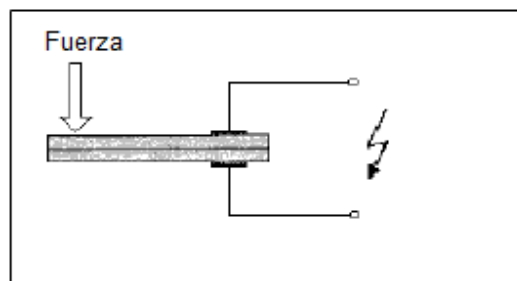


Figura 2.11 Principio de funcionamiento de un transductor piezo-ceramico/multicapa (Mayné, 2003)

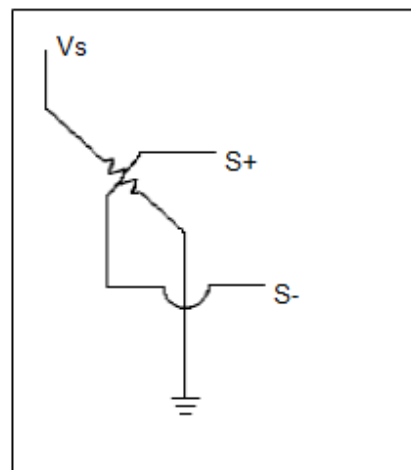


Figura 2.12 Principio de funcionamiento de los transductores MPX (Mayné, 2003)

2.6.1.4 TRANSDUCTORES DE VELOCIDAD LINEAL

Se emplean para medir velocidades lineales aplicando la Ley de Faraday a un conductor que se mueva con velocidad lineal perpendicular a un campo magnético. En la Figura 2.13, se observan sensores de devanado móvil, donde hay un imán permanente y el devanado se mueve con la velocidad a detectar. Por otro lado están los sensores de núcleo móvil, dicho núcleo es un imán que se mueve con la velocidad a detectar, mientras que el devanado está fijo (Barajas-Marroquín, 2009).

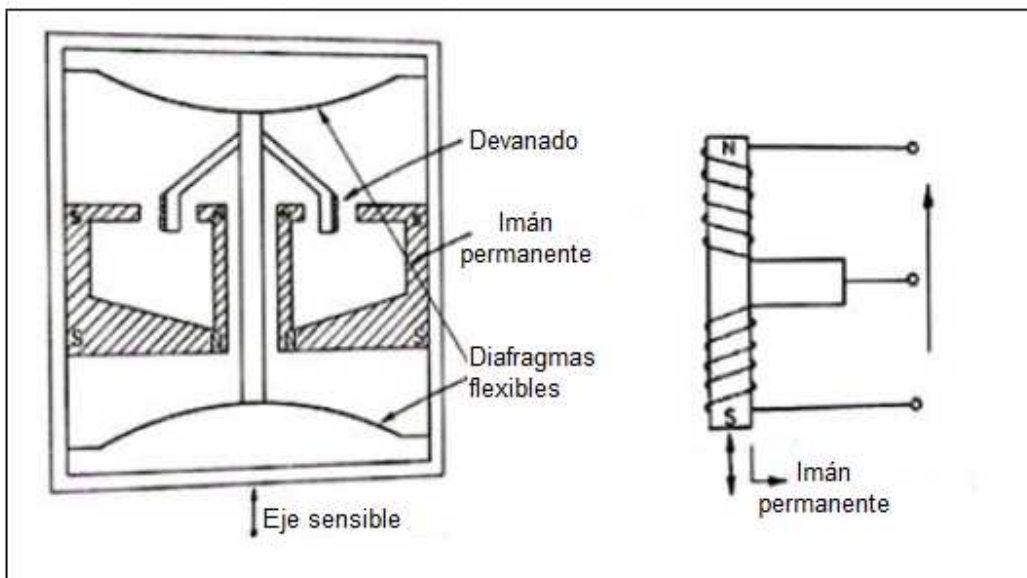


Figura 2.13 Transductores de velocidad lineal (Barajas-Marroquín, 2009)

2.6.1.5 TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

Termopar

Los termopares son elementos sólidos que se utilizan para convertir energía calorífica en voltaje. Aprovechándose de la tensión que es generada en la unión de dos metales que se encuentran en contacto térmico, este fenómeno se logra gracias a sus distintos comportamientos eléctricos cuando son sometidos a un cambio de temperatura. En la Tabla 2.1 se ilustra los diferentes materiales con que están hechos los termopares, su sensibilidad que presentan a los cambios de temperatura en su intervalo de operación, así como la designación que se les hace a estos. Por otro lado en la Figura 2.14 se muestra el comportamiento únicamente de los tipos J, K y S presentando una actividad muy estable y casi lineal (Mayné, 2003).

Tabla 2.1 Distintos tipos de termopares y sus características (Mayné, 2003)

Material de la unión	Rango típico (°C)	Sensibilidad (μV/°C)	Designación
Pt (6%)/Rodio – Pt (30%)/Rodio	38-1800	7.7	B
Tungsteno(5%)/Renio- Tungsteno(26%)/Renio	0-2300	16.0	C
Cromo-Constantan	0-982	76.0	E
Hierro-Constantan	0-760	55.0	J
Cromo-Aluminio	-184-1260	39.0	K
Pt(6%)/Rodio-Pt	0-1593	11.7	R
Pt(10%)/Rodio-Pt	0-1538	10.4	S
Cobre-Constantan	-184-400	45.0	T

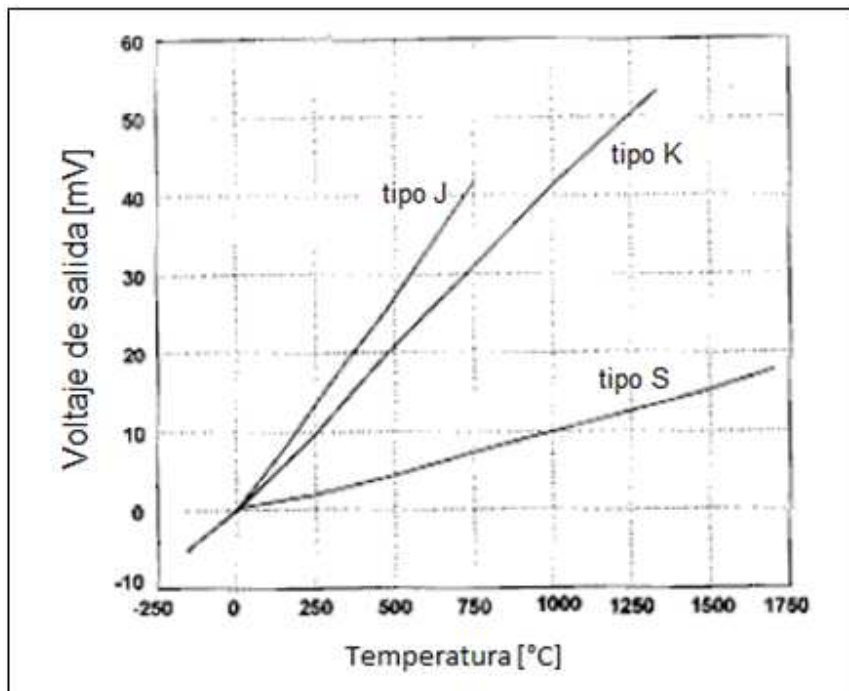


Figura 2.14 Curva de algunos termopares con sus características eléctricas (Mayné, 2003)

Resistivos

Empleado diferentes materiales que se muestran en la Tabla 2.2, estos constituyen las Resistencia Temperatura Detector (RTD) o PT100 basadas en la dependencia de la resistividad de un conductor con la temperatura. Están caracterizadas por un Coeficiente Térmico Positivo (CTP) o también se pueden encontrar las Coeficiente Térmico Negativo (CTN), para aplicaciones de

temperaturas con intervalos negativos, estos dispositivos son mejor conocidos como termistores.

Tabla 2.2 Dispositivos Resistencia Temperatura Detector (RTD) más comunes (Mayné, 2003)

Material	Rango de temperatura (°C)	Variación coef. (%/°C a 25°C)
Platino	-200 a 850	0.39
Níquel	-80 a 320	0.67
Cobre	-200 a 260	0.38
Níquel-Acero	-200 a 260	0.46

Los termistores de Coeficiente Térmico Positivo (CTP) son resistencias que principalmente están compuestas de bario y estroncio con titanio. La adición de dopantes hace que el semiconductor dé una característica de resistencia con respecto a la temperatura, aunque son muy poco utilizados.

Los termistores Coeficiente Térmico Negativo (CTN) son resistencias sensibles a la temperatura para mediciones negativas. Están fabricados de una mezcla de óxidos de Mn, Ni, Co, Cu, Fe y están moldeados en un cuerpo cerámico de varios tamaños. Típicamente tienen una resistencia entre 50Ω y 1M Ω a 25°C y una sensibilidad del 4%/°C a 25°C (Mayné, 2003; Barajas-Marroquín, 2009).

Semiconductores

Se basan en la variación de la conducción de una unión p-n polarizada directamente.

Probablemente la temperatura sea el parámetro físico que se mide más comúnmente en una aplicación electrónica, incluso en muchos casos en que el parámetro de interés no es la temperatura. Ésta se ha de medir para incluir directamente su efecto en la medida deseada (Mayné, 2003).

2.6.1.6 TRANSDUCTOR DE PH

ISFET

ISTEC que por sus siglas en inglés es ISFET (Ion Selectivo de Transistor de Efecto de Campo) es un dispositivo electroquímico el cual es sensible a los iones. Si el cambio en que se enfoca este ISTEC es sobre el ion hidrógeno, el cual es el encargado de definir el pH en una solución, entonces, se cuenta con un transistor sensible al pH. Cuenta con una membrana la cual se encarga de reaccionar ante la cantidad de iones que pasan a través de ella, para llegar así al Gate del ISTEC (Mayné, 2003).

ELECTRODO DE PH.

El electrodo de vidrio actualmente constituye la pieza fundamental en la medición electrométrica de pH. Junto con el electrodo de calomel, se encuentran ampliamente difundidos y a la fecha no existe otro sistema para la medición electrométrica que tenga la misma precisión y versatilidad. La varilla de soporte del electrodo es un vidrio común no conductor, mientras que el bulbo sensible (el extremo sensible del electrodo) se construye con un vidrio de formulación especial, conocido como “vidrio sensible a pH” (vidrio polarizable).

La estructura de vidrio es tal que permite el intercambio de iones litio por iones de hidrogeno en solución acuosa, se crea así una diferencia de potencial en el orden de mili volts, a través del contacto que presenta el vidrio en la solución acuosa. De modo que la diferencia de potencial depende solo del pH del medio externo (Ciganda, 2004).

2.6.1.7 TRANSDUCTOR DE LLAMA

Generalmente se utilizan dos tipos de transductores: Transductor de llama por radiación ultravioleta y transductor de llama por radiación infrarroja. El primero utiliza un tubo que capta radiación ultravioleta de muy baja intensidad, como la emitida por una llama, la mayoría dispone de un circuito para prevenir falsas alarmas, como la radiación emitida por rayos o bengalas.

El segundo emplea dos transductores piroeléctricos y un fotodiodo. Se emplean para detectar llamas en salas o a la intemperie. Puede detectar fuego sin humo, causados por líquidos y gases, así como fuego de materiales que contienen carbono y que emiten gran cantidad de humo. Sin embargo, no detectan incendios de materiales inorgánicos como: Azufre, fósforo, magnesio, hidrógeno etc. Éstos ofrecen una protección adicional pues un factor determinante es la distancia entre el fuego y el sensor. Por eso se emplean en lugares donde las llamas puedan originarse rápidamente o donde sean de gran peligro para algún sistema o material (Barajas-Marroquín, 2009).

2.6.1.8 TRANSDUCTORES DE GASES

Resistivos

El transductor lo forma una resistencia, la cual hace que entre más alta sea la concentración de gas en el aire más disminuye dicha resistencia. Los hay de diferentes tipos, sensibles al monóxido de carbono, amoníaco, alcohol y gasolina,

o al propano, por mencionar algunos. Un fabricante es Figaro Engineering Company reconocido mundialmente (Mayné, 2003).

Semiconductores

La absorción de oxígeno en la superficie del sustrato varía el flujo de electrones. Esto se ve reflejado en un voltaje de salida. De esta forma se pueden saber concentraciones de distintos gases como por ejemplo, CO y CH₄. Un fabricante es Humirel (Mayné, 2003).

2.6.1.9 TRANSDUCTORES DE CAUDAL

Electromecánicos

Existe el método por pistones (midiendo el volumen de cada movimiento en el pistón), también por turbulencias (mediante el paso del caudal a través de un cilindro donde gira un cuerpo magnético y al dar vueltas conmuta un interruptor magnético exterior y se cuentan los pulsos), también por turbina (contando las vueltas que esta da al paso del caudal) y por vibraciones (un elemento mecánico vibra al paso del caudal y se mide la frecuencia) (Mayné, 2003).

Magnéticos

Aplicando un campo magnético perpendicular al caudal (Mayné, 2003).

Ultrasonido

Aplicando un emisor y un receptor de ultrasonidos (Mayné, 2003).

2.6.2 USOS

Los transductores de temperatura se usan comúnmente en aplicaciones para controlar el flujo de aire en ventiladores y calefacción, en pocas palabras, activando un proceso para intervalos de temperatura de interés.

Los transductores de humedad se usan más comúnmente en procesos donde la medición de humedad en materiales específicos implica mantener un cierto intervalo en la humedad de sus alrededores, en donde la mayoría de éstos deben ser sometidos a procesos de secado, tales como fábricas de papel, cartón y desechos orgánicos. Para los transductores de presión existen muchas aplicaciones donde la medida de la presión es fundamental para controlar un sistema hidráulico o neumático. También se puede utilizar como altímetro midiendo la presión atmosférica.

Transductores de posición más comúnmente usados en brazos robóticos y manipuladores en la industria.

Transductores de gases, se usan comúnmente en instalaciones en donde altas concentraciones de gases pueden ser perjudiciales para el ser humano o para algún sistema que pueda reaccionar de forma peligrosa a estas concentraciones. También se usan para controlar las porciones de gases que se suministran a algún sistema y mantenerlas en un nivel estable.

Los transductores de llama se usan en lugares donde es de gran peligro la aparición de llamas y flamas, debido a que en la mayoría de las industrias se almacenan compuestos inflamables.

Los transductores de pH son comúnmente usados en albercas, soluciones químicas, tratamiento de ambientes específicos como por ejemplo en el tratamiento de aguas y manejo de contenedores con productos comestibles.

2.7 SENSORES

Un sensor es cualquier dispositivo que detecta una determinada acción externa. Los sensores existen desde siempre, pues el hombre los tiene incluidos en su cuerpo y de diferentes tipos. El hombre experimenta sensaciones como calor o frío, duro o blando, fuerte o débil, agradable o desagradable, pesado o no. Y poco a poco le ha ido añadiendo adjetivos a estas sensaciones para cuantificarlas como frío, fresco, tibio, templado, caliente, etc., es decir, que día a día ha ido necesitando el empleo de magnitudes medibles más exactas (Mayné, 2003).

Los sensores electrónicos son usados ampliamente en las mediciones de sistemas. La palabra "sensor" es derivada de "sentir". Se puede entender también como "Un dispositivo que detecta un cambio por medio de un estímulo físico y la convierte en una señal que puede ser medida o registrada". Los sensores electrónicos han ayudado no solo a medir con mayor exactitud las magnitudes, sino a poder operar con dichas medidas.

Tanto los transductores como sensores presentan parámetros de interés, de éstos depende que tan confiables pueden llegar a ser.

- 1) Exactitud. Significa que el valor verdadero de la señal se pueda detectar sin errores positivos o negativos en la medición. Mediante varias mediciones de la señal, el promedio de error entre el valor real y el valor detectado debe tender a cero.
- 2) Precisión. Significa que existe o no una pequeña variación aleatoria en la medición de la señal. Un dispositivo es muy preciso si la variación en los valores de una serie de medición es mínima.

- 3) Intervalo de funcionamiento. Se refiere a los límites en los cuales el sensor opera correctamente ante la señal a captar.
- 4) Velocidad de respuesta. Es el tiempo que toma el sensor o transductor en responder a los cambios de la señal detectada. Entre menor sea este tiempo es mejor.
- 5) Calibración. Es el proceso en el cual se establece la relación entre la señal detectada y la señal de salida. Con frecuencia los dispositivos sufren una pérdida gradual de exactitud, por lo que es necesario volver a calibrarlo. Lo mejor para el sensor debe de ser una fácil calibración.
- 6) Fiabilidad. Significa que el sensor no debe tener fallas frecuentemente en su funcionamiento. Un ejemplo de fiabilidad en transductores o sensores es tener el mínimo de falsas activaciones.
- 7) Sensibilidad. Es el valor necesario de la señal a captar, para que el transductor pueda ser activado. Lo mejor en un sensor es que la sensibilidad puede ser ajustada con facilidad (Usher y Keating, 1996).

Los sensores pueden ser:

- Sensores no autogeneradores: Es un sensor que requiere una fuente externa de excitación.
- Sensores autogeneradores: Es un sensor que no requiere una fuente externa de excitación.

2.7.1 TIPOS

2.7.1.1 SENSORES DE DESPLAZAMIENTO O POSICIÓN

Cabe mencionar que este tipo de sensores pueden ser usados para aplicaciones de presión o posición dependiendo la forma en que se usen.

- 1) Sensor de desplazamiento o posición resistivos

Hay una fórmula general la cual se ilustra gráficamente por medio de la Figura 2.15. Esta figura es muy común e importante para la respuesta eléctrica lineal de un Sensor de posición. Se observa que la impedancia del dispositivo varia de cero a $Z_{m\acute{a}x}$ dentro del intervalo $I_{m\acute{a}x}$ mientras que el voltaje de excitación es V_{DC} , entonces para un cambio en δZ correspondiente a un desplazamiento δl se tendrá una salida Δv , donde esta salida es medible por medio de V_{OUT} . Este comportamiento es determinado por:

$$\frac{\delta V}{V_{ex}} = \frac{\delta I}{I_{m\acute{a}x}} = \frac{\delta Z}{Z_{m\acute{a}x}} \quad \text{y} \quad r = \frac{V_{DC}}{I_{m\acute{a}x}} \quad (2.2)$$

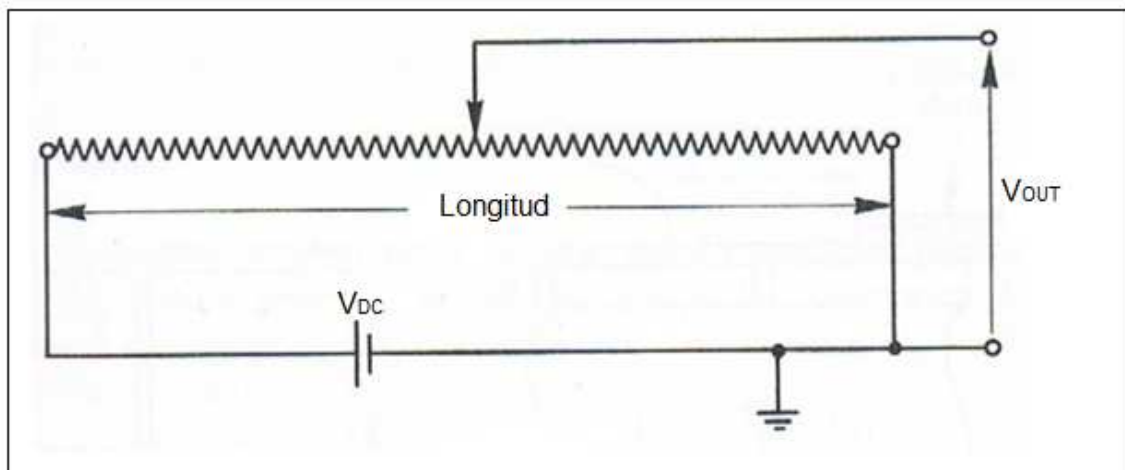


Figura 2.15 Respuesta de un potenciómetro resistivo (Usher y Keating, 1996)

Los sensores resistivos pueden ser rotacionales o de desplazamiento en un solo eje, el potenciómetro rotatorio es el tipo más usado hoy en día. Éstos son relativamente más baratos y pueden tener linealidad de 0.1% o mejor. Sus principales desventajas es que estos se asocian necesariamente con un contacto físico. En base a un tratamiento, estos dispositivos pueden estar disponibles con intervalos de hasta 50 cm y los tipos rotacionales hasta 20 o de más vueltas. Entonces, aunque sea más económico el uso de estos dispositivos para aplicaciones simples, los transductores resistivos son en ocasiones inadecuados para aplicaciones de mayor precisión (Usher y Keating, 1996).

2) Sensores de desplazamiento o posición capacitivos

Existen 3 principios fundamentales en los sensores capacitivos. El primero se enfoca en un condensador de placas paralelas generalmente compuesto por dos cilindros metálicos, que constituyen las placas, en cuyo interior se encuentra un material dieléctrico, un desplazamiento del cilindro inferior modifica la superficie abarcada por el dieléctrico y en consecuencia la capacitancia. El segundo tipo se basa en dos placas metálicas paralelas, una de las dos es fija y la otra es móvil, el

principio de operación consiste en un cambio de la capacitancia provocado por la distancia entre las placas, generalmente estos emplean aire como dieléctrico.

El tercer tipo se basa en dos placas fijas, entre las cuales existe una capa de dieléctrico sólido y una tercer placa móvil, el principio de operación consiste en un cambio en la capacitancia debido al desplazamiento de la placa móvil, por lo que, en la Figura 2.16 se muestra la estructura de estos 3 principios fundamentales.

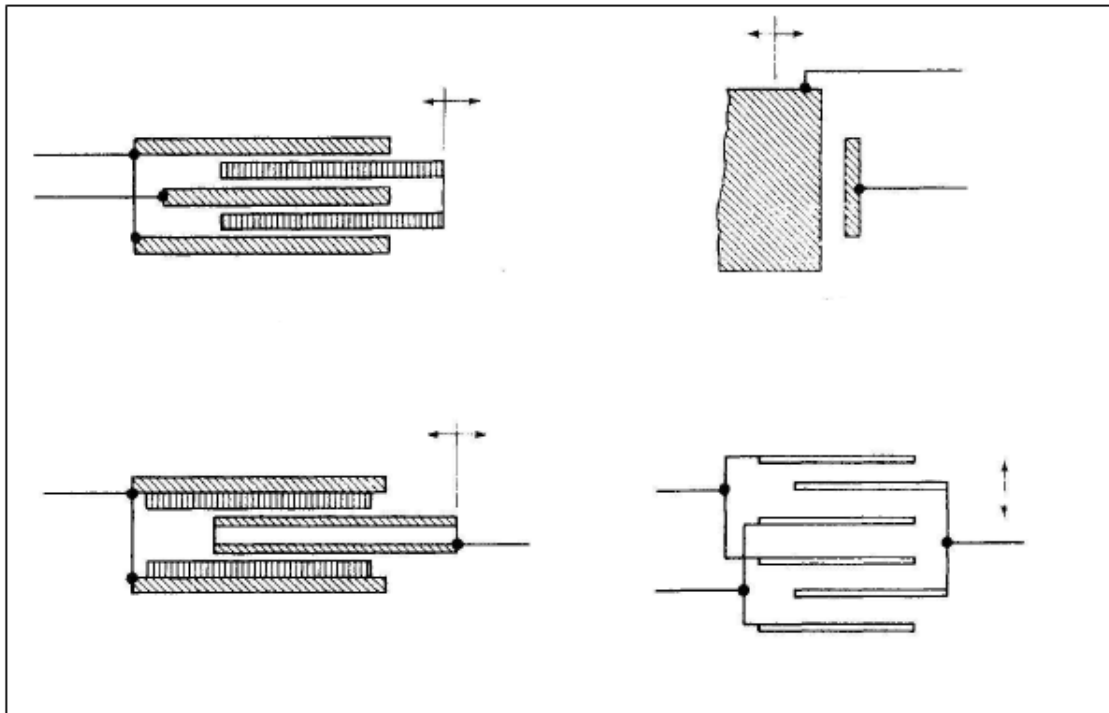


Figura 2.16 Configuraciones más comunes basadas en los 3 principios fundamentales (Pallás, 1989)

En la Figura 2.17 se muestra un dispositivo el cual contiene 3 placas idénticas, dos de ellas fijas y separadas por una pequeña distancia "s", y la placa superior es capaz de deslizarse sobre las dos placas fijas. Esta tercera placa se encuentra a una separación constante "t". Las dos placas son excitadas por medio de un transformador con derivación central ($1: \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$), es decir, este transductor consiste en dos condensadores conectados de tal forma que experimentan el mismo cambio pero con sentidos opuestos (Usher y Keating).

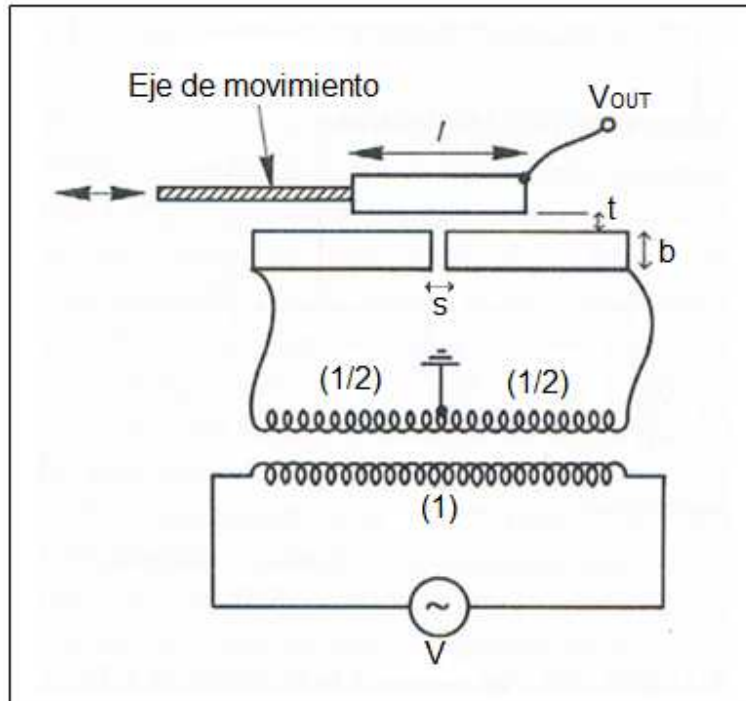


Figura 2.17 Capacitor de área variable (Usher y Keating, 1996)

3) Sensores de inductancia variable

Su principio de funcionamiento se enfoca en la variación que experimenta la autoinducción de un devanado debido a un elemento móvil, generalmente ferro magnético. La bobina puede formar parte de un oscilador LC, el transductor en este caso opera convirtiendo los cambios de posición del núcleo de la bobina en cambios de frecuencia. En la Figura 2.18 se muestra cómo es que se conecta una bobina en una fuente de alterna, cuya salida refleja los cambios de inductancia y, en consecuencia, los cambios de movimiento que presenta su núcleo.

Este tipo de transductor también puede existir con un núcleo fijo y un devanado móvil, basándose en el mismo principio, es decir, para este caso un movimiento en el devanado se ve reflejado en un voltaje proporcional a la salida (Pallás, 1989; Usher y Keating, 1996).

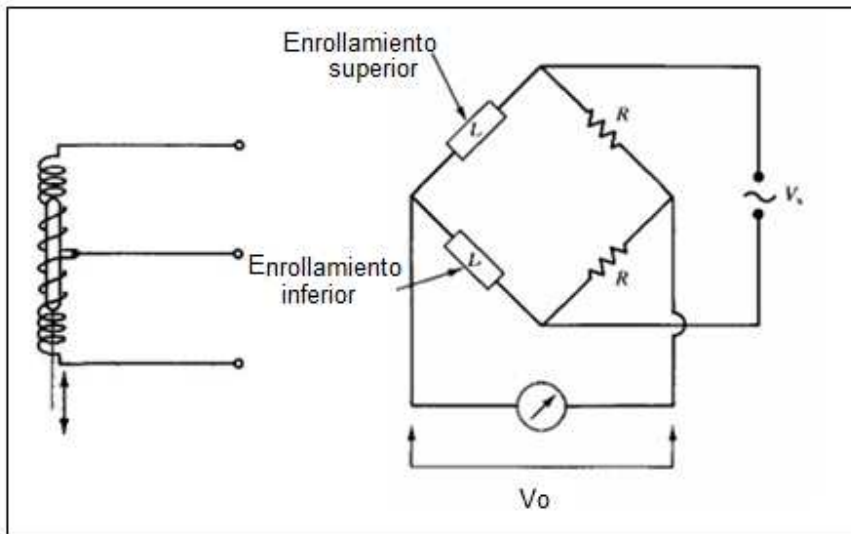


Figura 2.18 Transductor de inductancia variable (Norton, 1987)

2.7.1.2 SENSORES DE TEMPERATURA

Las dos clases principales son dispositivos resistivos, incluyendo los tipos metálicos y semiconductores, y dispositivos termoelectricos. Los termistores son pequeños dispositivos semiconductores usualmente en forma de perlas, discos o barra. Son elaborados por varios materiales, tales como cobalto, níquel y manganeso y son a menudo encapsulados. Siguiendo una ecuación de la forma:

$$R_T = Ae^{B/T} \quad (2.1)$$

Donde A y B son constantes. La constante A puede ser eliminada para dar la ecuación:

$$R_{T1} = R_{T0} \left[B \left(\frac{1}{T1} - \frac{1}{T0} \right) \right] \quad (2.2)$$

Donde R_{T0} y R_{T1} son las resistencias de temperatura $T0$ y $T1$. B es usualmente de un valor aproximado a 3000Ω . La resistencia a temperatura ambiente puede estar entre unos cientos de ohms y varios mega ohms, dependiendo del tipo. Un valor típico es de $10k\Omega$ a $300k\Omega$ con una pendiente de $1k\Omega/^\circ C$. Los termistores tienen la ventaja de una rápida respuesta y tamaño pequeño. Por lo tanto sus características pueden variar sensiblemente de una muestra a otra presentando una amplia gama de temperaturas aproximadamente $-100^\circ C$ a $200^\circ C$. En

consecuencia la aplicación más adecuada para los termistores es en control de temperatura.

Una precaución importante al usar estos dispositivos es el cuidado que se debe de tener para no exceder su potencia de disipación, pues ésto puede afectar seriamente su comportamiento. Los termistores son usualmente empleados en circuitos con puentes. El termistor traduce un cambio de temperatura en un cambio de resistencia, de esta forma se puede obtener una tensión resultante que puede ser medida. En general algunas formas de circuitos de puentes son requeridas en caso de que la transducción sea en una forma eléctrica como capacitancia, resistencia o inductancia.

La forma más general de puente es el arreglo de 4 brazos, tal y como se muestra en la Figura 2.19. En la medición de temperatura, una resistencia puede ser un termistor y las otras resistencias fijas o variables (Usher y Keating, 1996).

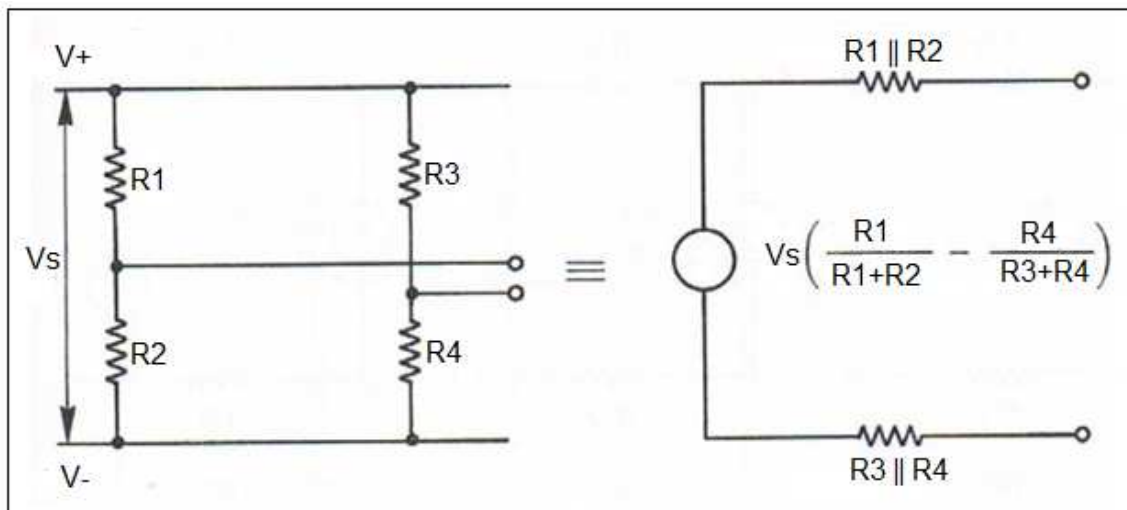


Figura 2.19 Puente resistivo y su circuito equivalente (Usher y Keating, 1996)

En la Figura 2.20 se muestra un termistor incluido en un circuito con puente resistivo, los termistores son usualmente empleados en esta clase de circuitos, en donde la variación de acuerdo a la temperatura que presenta el termistor se ve reflejada en una variación de su resistencia interna, de esta forma en el termistor (R_T) se ve reflejado un voltaje de salida que entrega el amplificador operacional, pues R_T está en función del voltaje de salida junto con R .

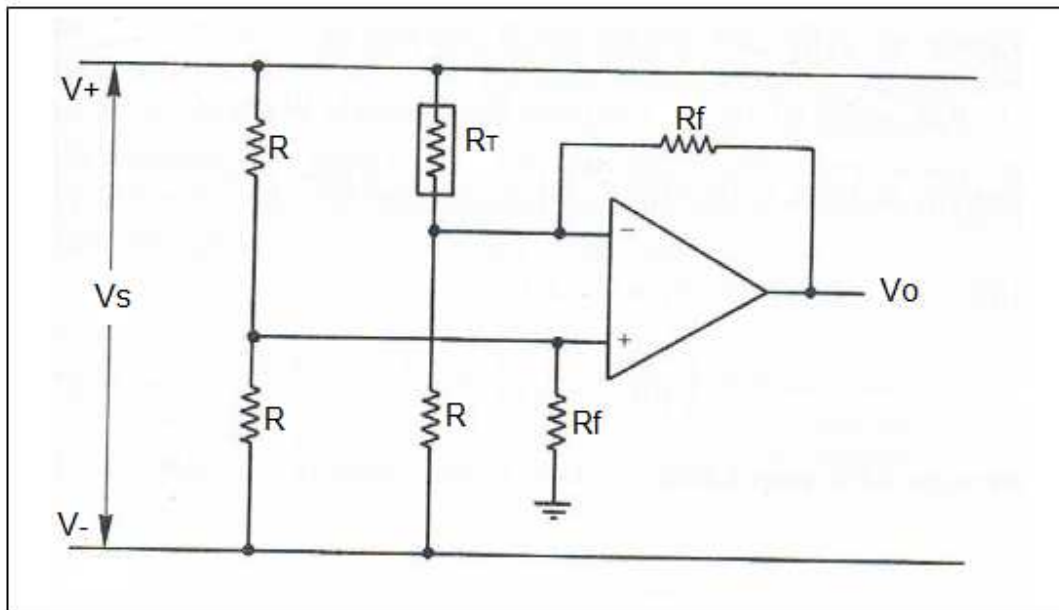


Figura 2.20 Circuito para termistor utilizando puente resistivo (Usher y Keating, 1996)

2.7.1.3 SENSORES DE CAUDAL

Se utilizan para medir el caudal. Se trata de un líquido conductor que se desplaza en el interior de un campo magnético creado por dos bobinas externas, en dos electrodos dispuestos a 90° respecto al flujo y al campo. La proporcionalidad entre el voltaje de salida y el caudal solo se da si el perfil de velocidades es simétrico respecto al eje longitudinal y el campo magnético es uniforme.

El caudal también puede ser medido por medio de una turbina, al igual que en el sensor de la Figura 2.21, el caudal pasa a través de ésta, generando un movimiento en ella que es proporcional a la cantidad de caudal que pasa por ella y puede inducir un voltaje (Barajas-Marroquín, 2009).

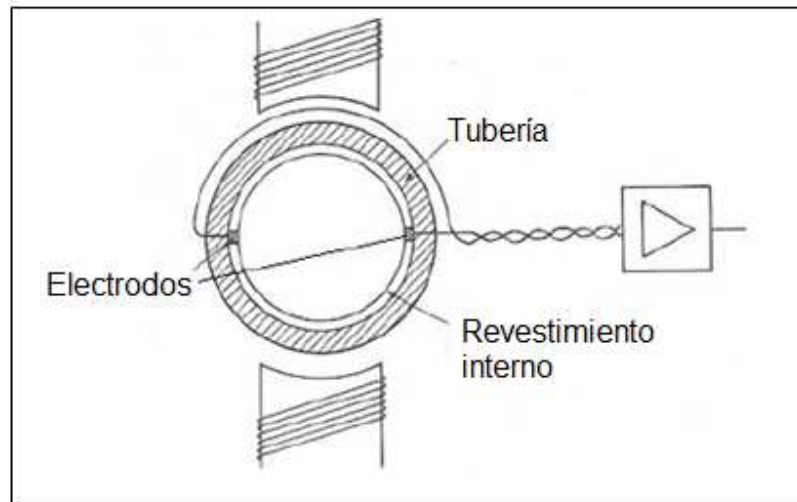


Figura 2.21 Sensor de caudal (Barajas-Marroquín, 2009)

2.7.1.4 SENSORES DE VELOCIDAD

En una bobina, con cierto número de espiras, por la cual atraviese un flujo magnético y éste varíe con el tiempo, producirá que se induzca un voltaje. A este fenómeno se le denomina Ley de Faraday y está dada por la siguiente expresión:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.3)$$

Dónde:

e= el voltaje inducido en volts [V]

N= número de espiras de la bobina

ϕ = flujo magnético en Webers [Wb]

t= tiempo en segundos [s]

Se puede determinar la velocidad a partir de la información proporcionada por los transductores de posición por diferenciación $v = (dr/dt)$. Algunos sensores de posición angular, al girar crean unos pulsos magnéticos. Basta con contar esos pulsos para determinar la velocidad.

Los sensores de velocidad como se muestra en la Figura 2.22 se aprovechan del uso de tacómetros, los cuales son empleados para medir velocidad angular, donde hay dos devanados a 90°. De esta forma se logra que se induzca un voltaje de salida a una frecuencia constante. Aunque también se pueden utilizar para medir velocidades lineales mediante sistemas mecánicos que conviertan el movimiento lineal en angular o mediante cálculos (Barajas-Marroquín, 2009).

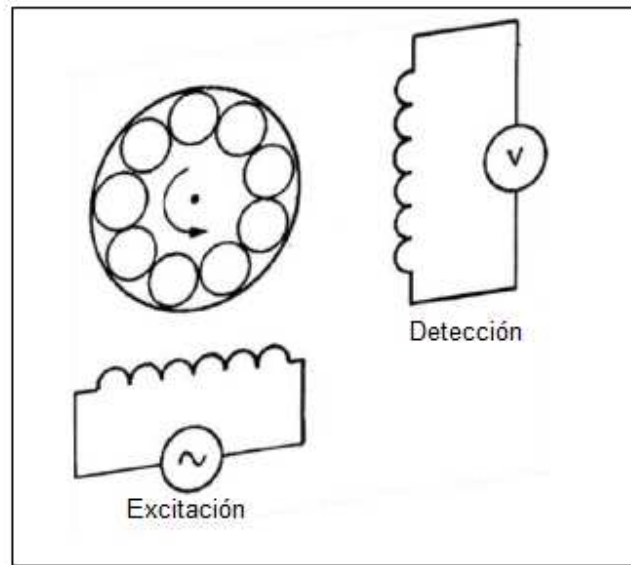


Figura 2.22 Principio de funcionamiento de un tacómetro (Barajas-Marroquín, 2009)

Los sensores de velocidad lineal se basan principalmente en la ley de Faraday. Su principio de funcionamiento se basa en una bobina con cierto número de espiras, por el cual atraviese un flujo magnético y el cual varía con el tiempo provocando que se induzca un voltaje (Usher y Keating, 1996).

2.7.1.5 SENSORES DE GAS

Estos sensores son elaborados por medio de compuestos de óxido de metal que detectan un gas específico a través de un incremento en la conductividad eléctrica cuando estos gases son absorbidos en la superficie del sensor. En la Figura 2.23 se muestra un elemento encargado de la detección. En un circuito eléctrico simple se puede convertir el cambio de conductividad a una señal de salida que corresponda a la concentración de gas. Este tipo de sensores tiene alta sensibilidad, debido a su baja dependencia a la temperatura y humedad. El sensor puede alcanzar un buen funcionamiento (FIGARO, 2002).

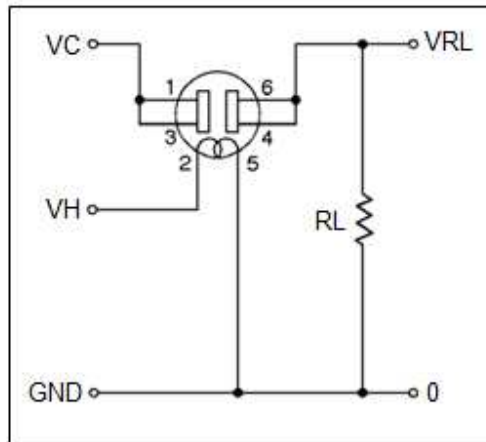


Figura 2.23 Sensor de gas (FIGARO, 2002)

2.7.1.6 sensores inteligentes (smart sensor)

Un sensor inteligente combina la función de transducción y algunas de las funciones de procesamiento de señal y comunicación. Además de la detección, puede incluir el acondicionamiento de la señal, ganancia, linealidad, compensación ambiental, escalamiento y conversión de unidades, comunicación digital, auto diagnóstico, decisión, e incluso, activación o acción de otro sistema (Barajas-Marroquín, 2009).

2.7.1.7 sensores de pH

Son sensores basados en dispositivos ISTECS, que utilizan como principio de funcionamiento un transistor en donde la diferencia de tensión que se establece por medio de una solución afecta al gate de éste. Es decir, cuando cambia la concentración de iones (pH), ocasiona que también cambie la cantidad de iones que pasan a través de una membrana para llegar finalmente al gate del transistor. Son dispositivos que tienen varias capas dispuestas selectivamente sobre un sustrato de silicio, la última capa solo tiene atracción para los iones de hidrógeno. Estos iones se encargarán de determinar el pH, pues la cantidad de iones que interactúan con esta última capa son los que causan un efecto eléctrico.

La Figura 2.24 muestra la polarización de un circuito aplicable con un sensor ISTECS. Los ISTECS son sensores químicos de estado sólido que miden el pH de una solución, éstos son usados comúnmente en aplicaciones de soluciones médicas y aplicaciones en ambientes específicos. El circuito establece condiciones para el sensor ISTECS estas condiciones están dadas por $V_{DS}=I_0R_x$ y $I_D=I_0$ (Casans y col., 2003).

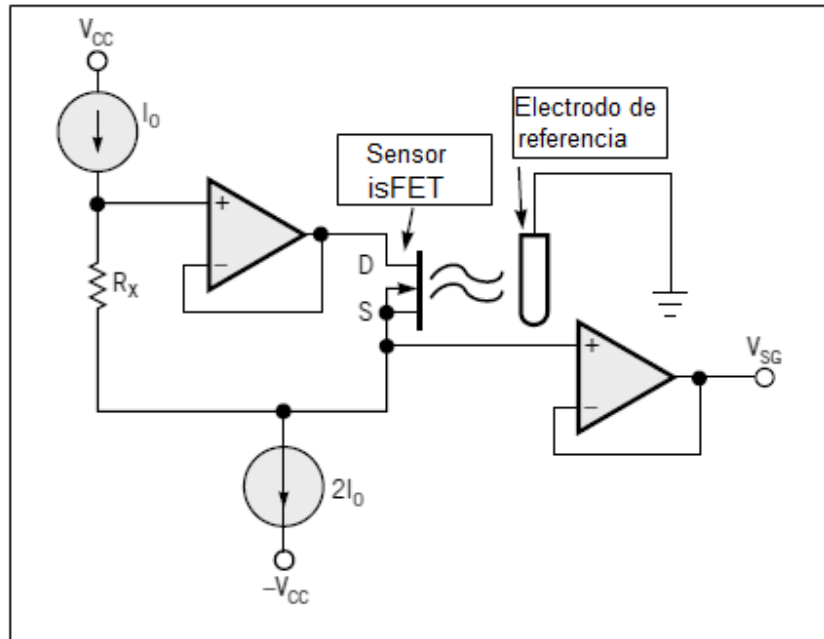


Figura 2.24 Circuito con isFET sensible a pH (Casans y col., 2003)

2.7.2 USOS

Los usos que se les puede dar a los sensores tienen un intervalo muy amplio, por esa razón se enfoca en los usos más comunes para los que se emplean estos dispositivos. Cabe decir que un sensor es un dispositivo que detecta un cambio por medio de un estímulo físico y la convierte en una señal que puede ser medida o registrada, mientras que un transductor es un dispositivo que convierte una magnitud física a otra. Estos dos dispositivos están íntimamente relacionados y funcionan conjuntamente, es decir, un sensor no puede funcionar sin un transductor y un transductor sin un sensor no puede dar una señal que sea medible y bien interpretada. Es por esta razón que los usos de ambos dispositivos son para un mismo fin, entonces, los usos mencionados en el capítulo 2.6.2 son equivalentes a los usos para un sensor.

2.8 SISTEMAS DE MEDICIÓN

Las mediciones y los instrumentos eléctricos se describen con ayuda de varios símbolos, convenciones y términos, muchos de los cuales son de uso exclusivo de la ciencia eléctrica. De acuerdo a este principio, se presentan los conceptos más generales relacionados con las mediciones eléctricas. Estos conceptos en

particular son parte del vocabulario que se emplea para describir todas las etapas del trabajo en mediciones eléctricas.

Estos instrumentos son capaces de medir e indicar magnitudes eléctricas, como corriente, carga, voltaje, etc. La información obtenida se da por lo general en una unidad eléctrica estándar, como se observan algunas incluidas en la Tabla 2.3. En base a esto y dado que todas las formas de la materia presentan distintas características eléctricas, es posible tomar mediciones eléctricas en base a la característica de interés. El medidor electrónico digital indica la cantidad que se esta midiendo en una pantalla numérica en lugar de la aguja y la escala que se emplea en los medidores analógicos.

Tabla 2.3 Unidades eléctricas estándar (Stanley y Richard, 1992)

CANTIDAD	UNIDAD	ABREVIATURA
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Corriente	ampere	A
Temperatura	kelvin	K
Voltaje	volt	V
Resistencia	ohm	Ω
Capacitancia	farad	F
Inductancia	henry	H
Energía	joule	J
Potencia	watts	W
Frecuencia	hertz	Hz
Carga	coulomb	C
Fuerza	newton	N
Flujo magnético	weber	Wb
Densidad de flujo magnético	webers/metro ²	Wb/m ²

Primero se presentan los conceptos de carga eléctrica, corriente y voltaje. Las mediciones eléctricas casi siempre involucran una o más de estas cantidades (Stanley y Richard, 1992).

1) Carga eléctrica

Los fenómenos eléctricos se originan por la naturaleza de las partículas que constituyen la materia. Los átomos están formados más que nada por partículas cargadas eléctricamente. El núcleo del átomo es una porción central que consiste en protones (que tienen carga positiva) y de neutrones. El núcleo está rodeado por un enjambre de electrones. El electrón tiene carga eléctrica que es igual en

magnitud, pero opuesta en polaridad a la carga de un protón. Por lo tanto, un átomo eléctricamente neutro debe contener un número igual de electrones y protones.

Si se quita uno o más de los electrones del átomo, ya no será neutro. Habrá menos electrones que protones y el átomo tendrá una carga positiva. Si se quitan los electrones de muchos átomos neutros de una sustancia, el cuerpo entero adquiere una carga neta positiva. De igual manera, si de algún modo se inyectan electrones a un cuerpo de materia eléctricamente neutra, el cuerpo adquiere carga negativa.

La unidad empleada para describir una cantidad de carga es el coulomb [C]. Un coulomb es equivalente a la carga eléctrica total que posee un conjunto de 6.2×10^{18} electrones, por lo tanto, un electrón tiene una carga de 1.6×10^{-19} [C]. Un cuerpo que presente una carga experimentará una fuerza cuando este colocado en la vecindad de otros cuerpos cargados. La magnitud de la fuerza electrostática entre dos cuerpos con carga se calcula mediante la ley de coulomb.

$$F = \frac{k * Q1 * Q2}{d^2} \quad (2.4)$$

Dónde:

Q1= la carga en coulombs del cuerpo 1

Q2= la carga en coulombs del cuerpo 2

F= la fuerza en Newtons

d= la distancia en metros que separa los cuerpos

k= $(4\pi * \epsilon_0)^{-1}$ que es equivalente a 9×10^9 [N·m²/C²]

ϵ_0 = la permitividad (constante dieléctrica) del espacio vacío, 8.85×10^{-12} [C²/N·m]

Si las cargas tienen polaridades iguales, la fuerza entre ellas es repulsiva. Si las cargas son de polaridad opuesta, la fuerza es de atracción (Stanley y Richard, 1992).

2) Voltaje

El concepto se relaciona con los conceptos de energía potencial y de trabajo. Ésto es cuando se mueven cargas eléctricas en contra de la fuerza de un campo eléctrico, se debe efectuar trabajo para moverlos. Este trabajo implica un gasto de energía. Como la ley de la conservación de la energía dice que esta no se puede crear ni destruir, la energía empleada para mover cargas contra un campo eléctrico, debe convertirse a otra forma. Si una carga eléctrica esta infinitamente

alejada de otras cargas eléctricas, no se producirá ninguna fuerza de repulsión o de atracción. En este punto el potencial electrostático se define como cero. Si la carga se lleva entonces más cerca de otras cargas, su potencial electrostático (y su energía potencial) cambiarán.

Se define así entonces el potencial electrostático de cualquier punto en el espacio como la energía, por unidad de carga, que se necesitará para llevar la carga a ese punto desde el punto de cero potencial electrostático. Si se mueve un cuerpo con una carga de un punto de un sistema eléctrico a otro, los dos puntos que localizan las posiciones de una partícula con carga antes y después de su cambio de posición se pueden caracterizar por la diferencia de potencial (electrostático) entre ellos. A la diferencia de potencial se le llama por lo general voltaje e indica cuanta energía adquiere o pierde (por unidad de carga) una partícula al moverse dentro del campo eléctrico.

Se dice que dos puntos en un sistema tienen una diferencia de potencial de 1 volt, si se necesita un joule de energía para mover la carga de 1 coulomb de un punto al otro.

$$\text{Diferencia de potencial} = \text{volts} = \frac{\text{joules}}{\text{coulomb}} \quad (2.5)$$

La unidad de diferencia de potencial es el volt [V]. Sin embargo, en muchos sistemas prácticos, se escoge determinado nivel de potencial como nivel de referencia y se asigna un valor arbitrario de cero. El potencial en todos los demás puntos se compara con este nivel (Stanley y Richard, 1992).

3) Corriente eléctrica

Se define la corriente eléctrica como el número de cargas que se mueven más allá de un punto dado en un circuito en un segundo. Se escribe en forma matemática esta definición para una corriente estable como

$$i = \frac{q}{t} \quad (2.6)$$

Dónde:

i= la corriente

q= carga que pasa por el punto

t= el tiempo en segundos

La unidad de la corriente es el ampere [A], y 1 ampere quiere decir que se ha transportado 1 coulomb de carga más allá de un punto en 1 segundo. Como la carga de un electrón único es aproximadamente 1.6×10^{-19} [C], entonces una corriente de un ampere corresponde a un flujo de aproximadamente 6×10^{18} electrones por segundo. Las cargas en movimiento que constituyen la corriente pueden tomar formas tales como el movimiento de electrones en el vacío o en un sólido, o el movimiento de iones en líquidos y gases. La mayor parte de las corrientes que se encuentran en los circuitos eléctricos implican el movimiento de los electrones en sólidos. En dispositivos como las baterías o en ciertos transductores la corriente puede implicar el movimiento de iones positivos y negativos. Sin embargo, el flujo de corriente en un conductor sólido es el que se encuentra con mayor frecuencia en los circuitos de medición (Stanley y Richard, 1992).

2.8.1 TIPOS

El medidor electrónico digital indica la cantidad que se está midiendo en una pantalla numérica en lugar de la aguja y escala que se emplea en los medidores analógicos. La lectura numérica le da a los medidores electrónicos digitales las siguientes ventajas sobre los instrumentos analógicos en muchas aplicaciones:

- 1) La exactitud (dependiendo de la calibración) en los medidores electrónicos digitales puede ser mayor que la de los medidores analógicos, esto se refiere, a mostrar una medición digital con mayor información que la que el ojo humano puede ver en los medidores analógicos. Por ejemplo, la mejor exactitud para el ojo humano en los medidores analógicos es de aproximadamente 0.5% mientras que la exactitud de los voltímetros digitales puede ser de 0.005% o mejor.
- 2) Para cada lectura hecha con un medidor electrónico digital se proporciona un número definido. Eso significa que dos observadores cualquiera siempre verán el mismo valor. Así se eliminan errores humanos o de enfoque que en ocasiones se presentan en los medidores analógicos.
- 3) Un medidor electrónico hace menos tediosa la tarea de tomar mediciones en situaciones donde se deben de tomar gran número de mediciones.
- 4) La resolución de los medidores electrónicos digitales es mayor cuando aumenta el número de dígitos desplegados (manteniendo la misma precisión). También pueden contener un control de intervalo automático y polaridad automáticos que lo protejan contra sobrecargas o de polaridad invertida.

- 5) La salida de los medidores electrónicos digitales se puede alimentar directamente a registradores (impresoras por ejemplo) donde se haga un registro permanente de las lecturas, también estos datos están en forma adecuada para ser procesados mediante computadoras digitales, sin ocupar demasiada memoria como lo usan las graficas analógicas.

En base a estos puntos se tiene entonces que se pueden dividir los sistemas en dos categorías principales, es decir, sistemas analógicos y sistemas digitales. En los sistemas analógicos, la información de la medición se procesa y se despliega en forma analógica. La cantidad medida es una cantidad analógica (una cantidad cuyo valor puede variar de manera continua). En los sistemas digitales, se procesa y se despliega la información de la medición en forma digital. Sin embargo, la mayoría de los fabricantes de sistemas electrónicos cambian hoy en día a los componentes digitales y analógicos en sus productos para minimizar el costo y maximizar tanto su confiabilidad como su versatilidad.

Un sistema puramente analógico maneja solo funciones continuas, mientras que un sistema puramente digital opera sobre pulsos discretos o discontinuos. En la Figura 2.25 se muestra un medidor digital básico, en donde se puede observar que se recibe una señal analógica en el instrumento digital de un circuito o de un transductor que se esté probando. A continuación se convierte la señal amplificada a la forma digital mediante un circuito de conversión analógico-digital (A/D). Por último aparece la señal digital que se muestra en un dispositivo de pantalla digital, o se pone a disposición para transmisión a otros instrumentos digitales (como registradores o computadoras).

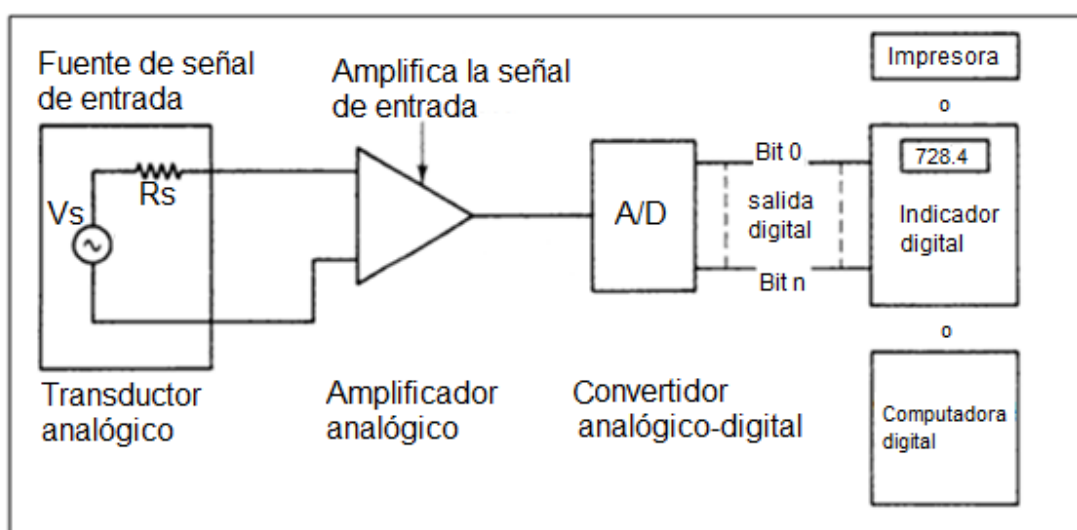


Figura 2.25 Diagrama de bloques básico de un medidor digital (Stanley y Richard, 1992)

La parte primordial de los medidores electrónicos digitales es el circuito que convierte las señales analógicas medidas en forma digital. Estos circuitos de conversión se llaman convertidores analógico-digitales (A/D). Por otra parte también se encuentran los circuitos que convierten a las señales digitales en señales analógicas, los cuales se conocen como convertidores digital-analógicos (Stanley y Richard, 1992).

2.8.1.1 CONVERTIDORES ANALÓGICO-DIGITALES

Se usan distintos métodos para convertir señales analógicas a la forma digital. Los que más se emplean en los circuitos convertidores analógico-digitales y que están disponibles en el mercado son:

- 1) Rampa de escalera
- 2) Aproximaciones sucesivas
- 3) Doble rampa
- 4) Voltaje a frecuencia
- 5) Paralelo (o instantáneo)

Todos los convertidores A/D emplean uno o más comparadores como parte del proceso de digitalización. Un comparador es un dispositivo cuya señal de salida indica si un voltaje de entrada, V_{ent} es mayor o menor que un voltaje de referencia V_R . En la Figura 2.26 se puede observar cómo está hecho un comparador y cómo es que funciona tomando un voltaje de referencia y dando una lectura cuando el voltaje de entrada excede a este voltaje de referencia.

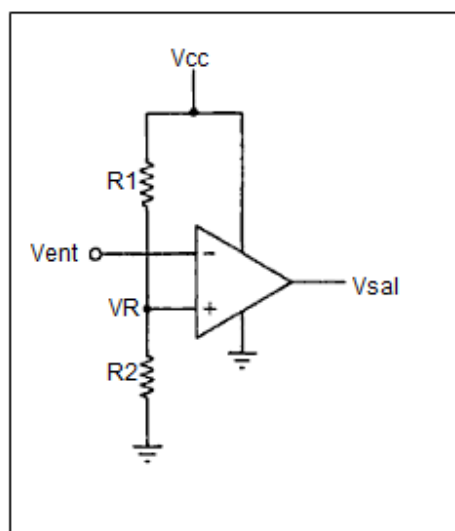


Figura 2.26 Comparador de voltaje (Stanley y Richard, 1992)

Dónde:

$$V_R = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.7)$$

Esto es, el comparador analiza una señal V_{ent} y la compara con otra V_R emitiendo un resultado digital V_{sal} , para el caso en que $V_{ent} > V_R$, o para el caso en que $V_{ent} < V_R$ (Stanley y Richard, 1992).

1) Rampa de escalera

Se muestra en la Figura 2.27 como es cuando se aplica un comando de inicio o arranque a la lógica de control, el voltaje analógico de entrada se compara con una salida de voltaje de un convertidor D/A. La salida del convertidor D/A comienza en cero y se incrementa en un bit menos significativo cada pulso de reloj, entonces, siempre que V_{ent} sea mayor que el voltaje de salida del convertidor D/A, el comparador producirá una señal de salida que continua permitiendo que los pulsos de reloj se alimenten al contador.

Sin embargo, cuando el voltaje de salida de ese convertidor es mayor que V_{ent} , la salida del comparador cambia y esta acción evita que los pulsos del reloj lleguen al contador. El estado del contador en ese instante representa el valor de V_{ent} en forma digital. La desventaja de este tipo de convertidor es que, no obstante su simplicidad, es bastante lento y el tiempo de conversión depende de la amplitud de V_{ent} . Por ejemplo, si se usa un reloj a 5 [MHz] y se necesita una salida de 10 bits, se necesitarán 2 [ms] para la conversión (Stanley y Richard, 1992).

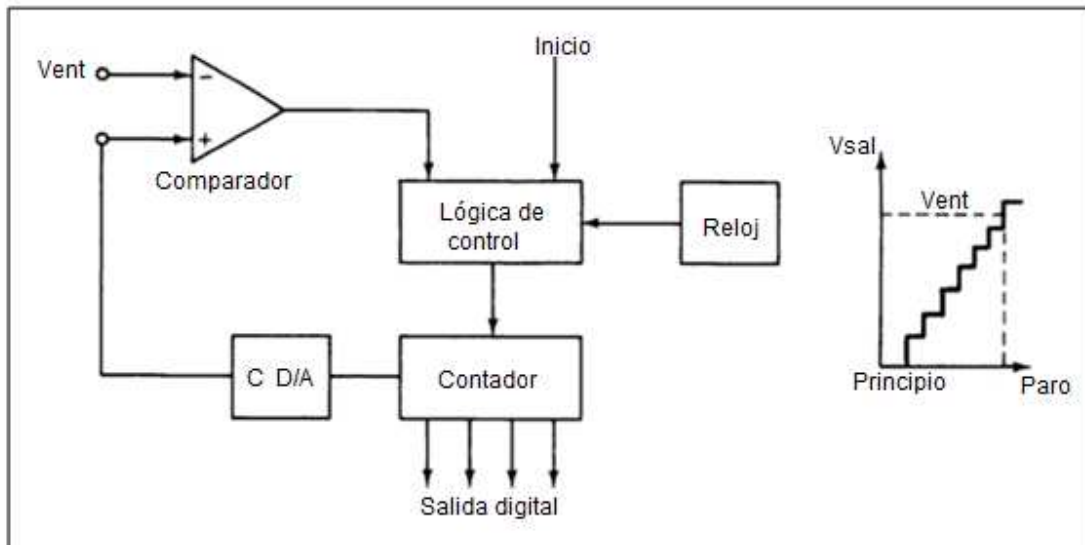


Figura 2.27 Diagrama de bloques de un convertidor analógico-digital rampa de escalera (Stanley y Richard, 1992)

2) Aproximaciones sucesivas

Un convertidor analógico digital de aproximaciones sucesivas tiene gran parecido al convertidor de rampa de escalera, pero la diferencia está en la lógica especial del convertidor. En lugar de permitir que el voltaje de referencia del comparador (que proviene de la salida de un convertidor D/A) aumente desde cero pasando por todos los escalones hasta alcanzar a V_{ent} la lógica de este convertidor prueba varios códigos de salida y los alimenta al convertidor D/A y a un registro de almacenamiento y compara el resultado con V_{ent} a través del comparador.

La operación que realiza es muy parecida a pesar una muestra en una balanza de laboratorio. Con pesos estándar en una secuencia binaria, como 1, 1/2, 1/4, 1/8, ..., 1/n [kg]. El procedimiento sería comenzar con el mayor peso estándar y proseguir con el menor (bit más significativo al menos significativo). La muestra se coloca en una balanza y el peso estándar más significativo en otra balanza para comparar. Si el peso estándar sobrepasa el de la muestra, este peso es descartado (un cero a un bit más significativo). Se prosigue con el siguiente peso estándar y si este es menor a la muestra se contempla (1 al siguiente bit). Y así se prosigue hasta el menor peso estándar (bit menos significativo).

Si se contará con 8 pesos estándar la precisión sería de 8 bits, por así decirlo. Pues después de que se ha probado el n -ésimo peso estándar y se han tomado decisiones, se dan por terminadas las mediciones de peso. El total de las pesas

que se encuentran en la balanza es la aproximación más cercana al peso de la muestra. El tiempo de conversión en los convertidores de aproximaciones sucesivas es constante y lo da la ecuación:

$$T_{\text{conver}}=n/f \quad (2.8)$$

Donde:

n= número de bits en el convertidor

f= frecuencia del reloj

Sin embargo un requisito muy importante de estos convertidores es que el voltaje de entrada permanezca constante durante el tiempo de conversión. Si no lo es pueden surgir errores durante los periodos de prueba y la salida puede estar muy alejada del valor real (Stanley y Richard, 1992).

3) Convertidores A/D de doble rampa

Los convertidores de doble rampa pueden suprimir la mayor parte del ruido de la señal de entrada debido a que emplean un integrador para efectuar la conversión. El ruido puede ser rechazado para una frecuencia específica del ruido si el primer periodo de integración del convertidor se iguala al periodo del ruido. Por ejemplo, para rechazar el ruido debido a las líneas de alimentación de 60 [Hz], se necesita que el periodo sea de 16.667 [ms]. Esta ventaja a cambio, conduce a tiempos de conversión largos (en el orden de ms).

En la Figura 2.28 se muestra el diagrama a bloques de un convertidor A/D de doble rampa. Donde el voltaje de corriente directa que se va a convertir, V_{ent} , se alimenta de un integrador que produce una salida en forma de rampa. La señal de rampa comienza en cero y aumenta para un intervalo de tiempo fijo, donde T_1 es igual a la cuenta máxima del contador multiplicada por la frecuencia del reloj. Así un contador de 8 bits operando a 1 [MHz] tendrá un T_1 de 8 [μ s] (Stanley y Richard, 1992).

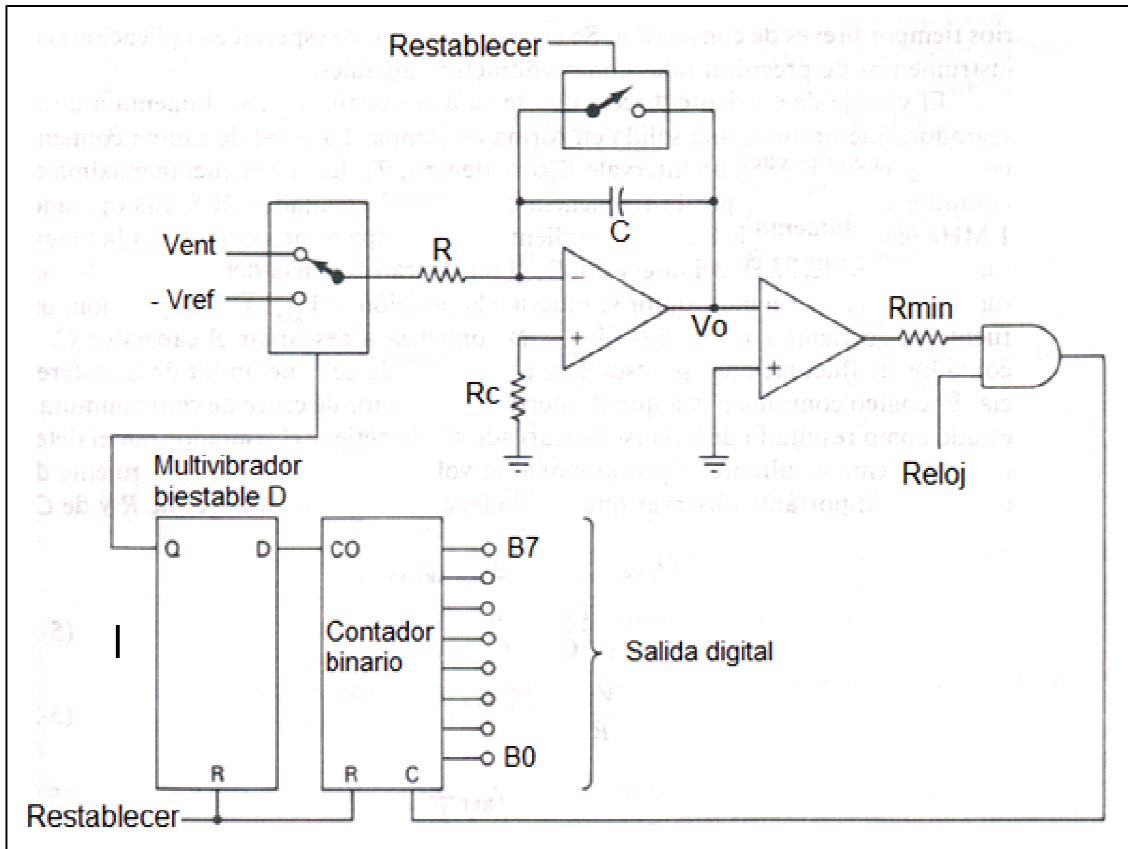


Figura 2.28 Convertidor analógico digital de doble rampa (Stanley y Richard, 1992)

4) Convertidor de voltaje a frecuencia.

En este tipo de convertidores el voltaje de CD de entrada se convierte (mediante un convertidor de voltaje a frecuencia) en un conjunto de pulsos cuya velocidad de repetición (o frecuencia) es proporcional a la magnitud del voltaje de alimentación.

En la Figura 2.29 se muestra cómo los pulsos son contados mediante un contador electrónico en forma semejante al de contar las longitudes de onda con el contador de intervalo de tiempo en el voltmetro digital de doble rampa. Por lo tanto la cuenta es proporcional a la magnitud del voltaje de entrada. Como el ruido aleatorio tiende a un valor promedio de cero, este tipo de voltmetro digital puede rechazar el ruido de CA. Ésto es, su valor indicado es igual al valor promedio medido durante un intervalo específico de tiempo. Esta posibilidad de rechazo de ruido es la ventaja principal de este tipo de convertidores.

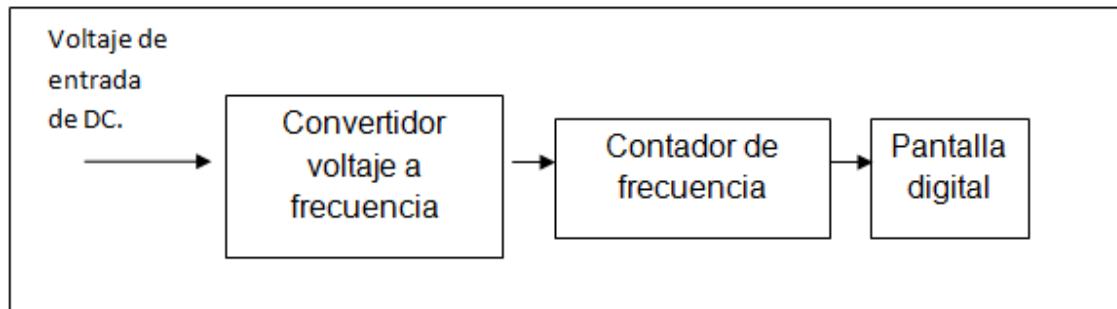


Figura 2.29 Diagrama a bloques de un convertidor voltaje a frecuencia (Stanley y Richard, 1992)

La parte primordial de estos convertidores es el circuito que transforma el voltaje de CD de entrada a un conjunto de pulsos. Se emplea un integrador para llevar a cabo esta tarea. Ésto es, el voltaje de CD de entrada se integra y la carga se almacena en un capacitor. Cuando el voltaje en el capacitor es mayor que el voltaje de referencia aplicado a un comparador, se usa el comparador para descargar el capacitor integrador a cero y al mismo tiempo disparar un generador de pulsos para emitir un pulso de ancho constante.

El pulso se alimenta al contador de frecuencia. Como el voltaje de entrada al integrador todavía está presente, se reinicia el proceso. La pendiente de la curva de integración depende de la magnitud de la señal de entrada. Por lo tanto, el número de pulsos producidos por segundo es directamente proporcional a la amplitud del voltaje de entrada. Las frecuencias típicas para estos convertidores están dentro del intervalo de 10 [kHz] a 1 [MHz] (Stanley y Richard, 1992).

5) Convertidores en paralelo o instantáneos

Estos convertidores llevan a cabo las conversiones A/D más rápidas. En esta técnica, el voltaje de entrada se alimenta simultáneamente a una entrada de cada uno de los N comparadores, la otra entrada de cada comparador es un voltaje de referencia. En la Figura 2.30, el comparador recibe un valor distinto del voltaje de referencia, comenzando en $V_{Rmáx}$. Empleando el principio de divisor de voltaje y valores iguales de R, el valor de voltaje de referencia V_{RN} en cada comparador estará dado por:

$$V_{RN} = V_{Rmáx} (n/Q) \quad (2.9)$$

Dónde:

n= número del comparador (de 1 a N)

N= número total de comparadores

$Q = \text{número total de resistencias } (N+1)$

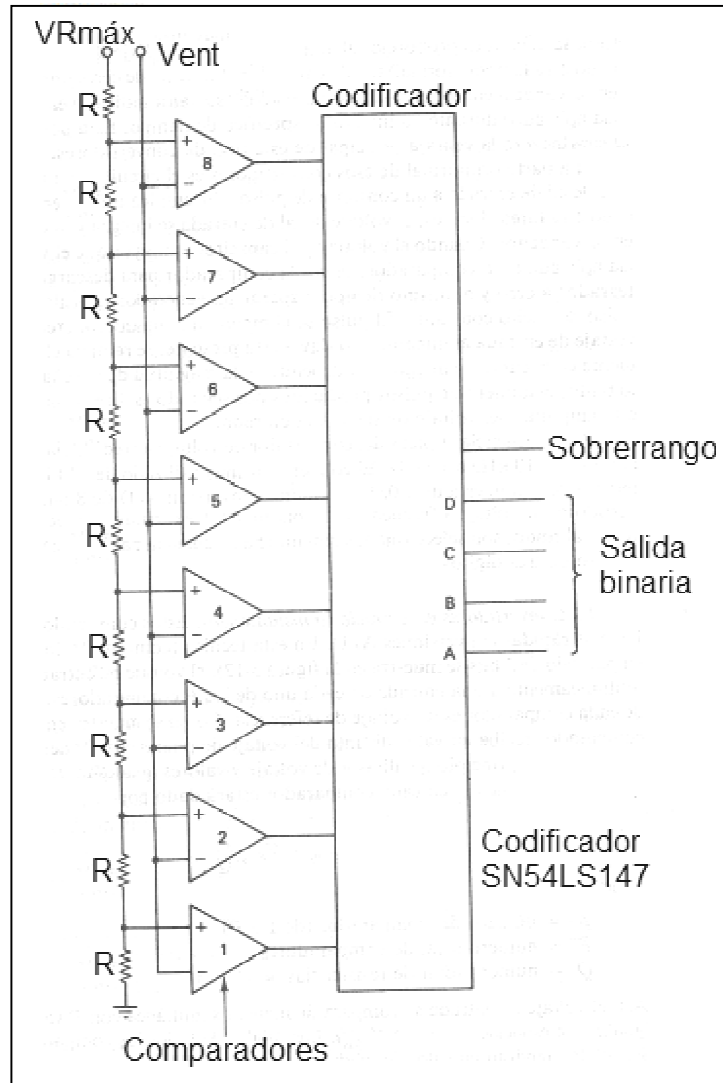


Figura 2.30 Convertidor analógico-digital en paralelo (Stanley y Richard, 1992)

Así el nivel de cuantificación para el comparador 1 es $V_{Rm\acute{a}x}/9$, mientras que para el comparador 2 es de $2V_{Rm\acute{a}x}/9$, y así sucesivamente. Así, el voltaje de entrada se compara de manera simultánea con N valores de voltaje, igualmente espaciados en el intervalo de 0 a $V_{Rm\acute{a}x}$. Las salidas de todos los comparadores en donde $V_{Rn} < V_{ent}$ tendrán un valor de salida igual a uno, mientras que todas aquellas donde se presente $V_{Rn} > V_{ent}$ tendrán una salida igual a cero.

Esta información se alimenta a un circuito codificador que es funcionalmente semejante a un codificador de prioridad. Texas Instrument cuenta con el circuito integrado SN54LS147 de 10 entradas a 4 salidas. La velocidad de los convertidores A/D en paralelo está limitada solo por los tiempos de demora del comparador y del decodificador. La resolución está limitada por el número de bits empleados para expresar la salida. El número de comparadores necesarios es de 2^n , siendo n el número de bits de salida. Así un convertidor en paralelo de 3 bits necesita 8 comparadores y un convertidor de 8 bits necesita 256 comparadores (Stanley y Richard, 1992).

2.8.1.2 CONVERTIDORES DIGITAL-ANALÓGICOS

Por otro lado se tienen los convertidores digital-analógicos (D/A). Son circuitos que convierten las señales digitales en cantidades eléctricas analógicas relacionadas en forma directa con el número de entradas digitales. Los convertidores D/A pueden efectuar sus conversiones en forma paralela o en serie. En la Figura 2.31 se muestra un circuito básico de conversión digital-analógico. El número digital a la entrada que será convertido se alimenta al registro de entrada del convertidor D/A. Después de la adquisición el registrador mantiene constante ese número digital hasta que se reciba otro dato.

Este bloque se detalla en la Figura 2.32 destacando como los bits del número digital pasan a través de interruptores de voltaje que dan únicamente dos salidas posibles, 0 ó 1, es decir, 0 volts o un voltaje fijo que en este ejemplo se propone de 8 volts. Así, esos interruptores son equivalentes a un interruptor de un polo dos tiros controlados mediante las señales binarias que manda el registro. Los interruptores dan acceso a una red sumadora resistiva que convierte cada bit en su valor correspondiente de corriente y a continuación los suma para obtener una corriente total. El valor total se alimenta entonces a un amplificador que efectúa dos funciones:

- 1) Conversión de corriente a voltaje
- 2) Escalamiento de la salida

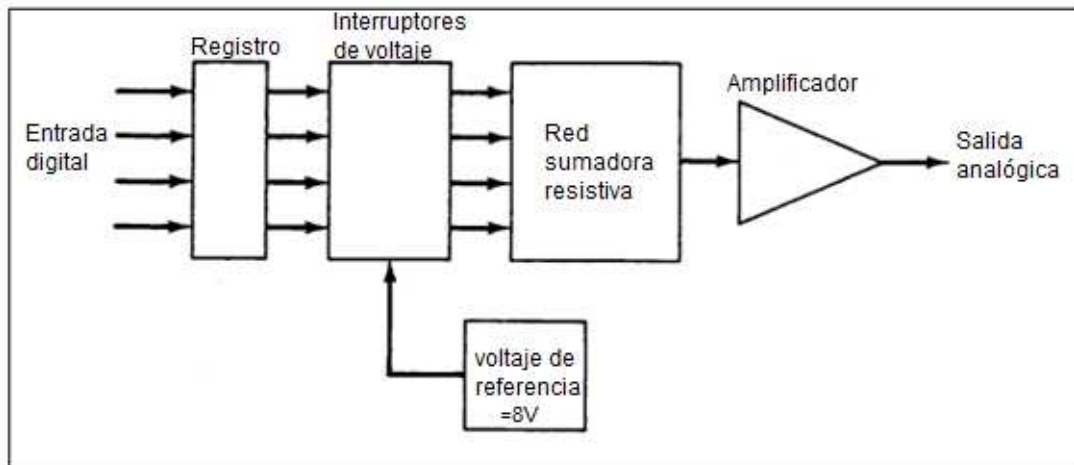


Figura 2.31 Diagrama de bloques básico de un convertidor digital-analógico (Stanley y Richard, 1992)

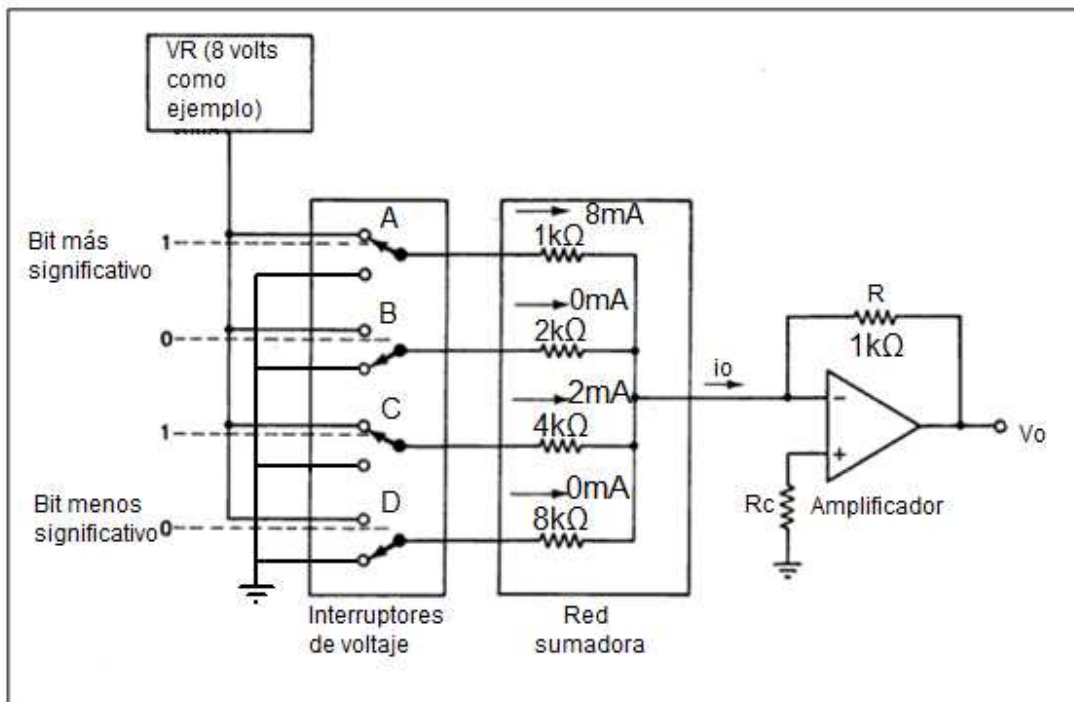


Figura 2.32 Convertidor digital-analógico de 4 bits (Stanley y Richard, 1992)

Al hablar de redes sumadoras se hace referencia a que en estos casos son empleadas comúnmente dos redes sumadoras principales para la conversión digital-analógica, es decir, redes sumadoras resistivas de peso binario y redes resistivas en escalera o también conocidas como R-2R (Stanley y Richard, 1992).

1) Redes sumadoras resistivas de peso binario

Este tipo de redes son comúnmente las que se emplean en los convertidores digital-analógicos menos complejos, pero son difíciles de fabricar debido a las resistencias especiales y al valor ideal de la resistencia R_C compensadora de desviación, que es distinta para cada palabra digital. La magnitud de la corriente proporcional al valor de cada bit en la palabra digital de entrada se genera mediante el voltaje de referencia V_{REF} , dividido entre la resistencia de peso de precisión R_n o $I_n = V_{REF}/R_n$. El peso de las resistencias es el correspondiente al código binario directo (8, 4, 2, 1 para un convertidor D/A de 4 bits).

En el caso de emplear resistencias con peso binario para un convertidor D/A de 8 bits con la estructura que se muestra en la Figura 2.33, la resistencia del bit menos significativo necesitara ser de 128 [k Ω], y para un convertidor de 12 bits necesitara ser de 2.048 [M Ω]. Conforme aumenta el tamaño de bits aumenta el valor de las resistencias notablemente, por esta razón el amplio intervalo de valores de resistencias limita seriamente la utilidad de los circuitos de resistencia de peso binario. Ésto se debe a que las tolerancias de las resistencias que deben existir para que los convertidores logren conversiones exactas son difíciles de mantener a lo largo de amplios intervalos de valores de resistencias (Stanley y Richard, 1992).

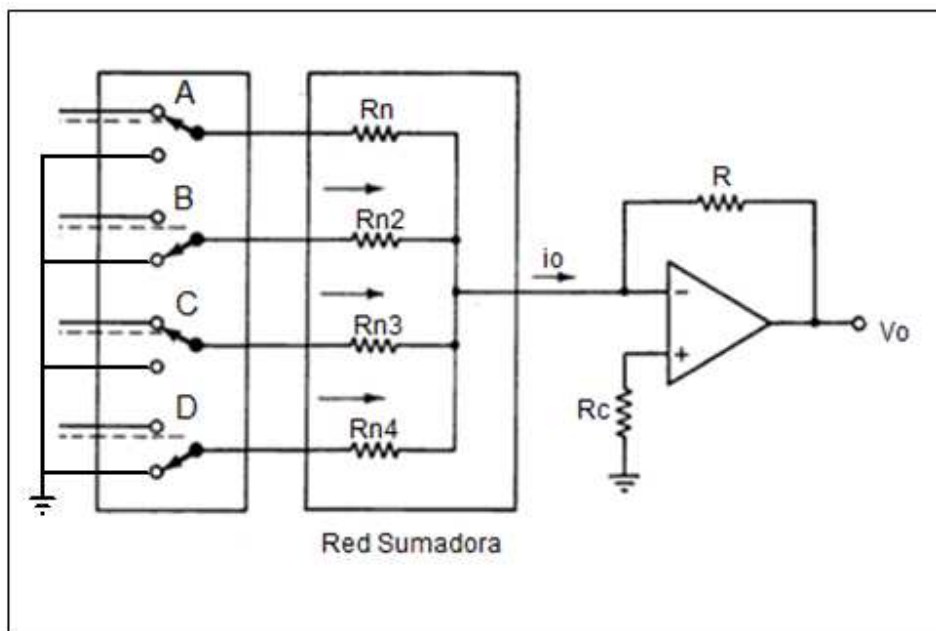


Figura 2.33 Red sumadora de peso binario (Stanley y Richard, 1992)

2) Redes sumadoras resistivas en escalera

La red sumadora resistiva supera en gran parte los problemas de los tipos resistivos de peso binario. El circuito en escalera (al que también se le conoce como escalera R-2R). En la Figura 2.34 se observa que solo se necesitan dos valores de resistencia, lo que hace ideal a este circuito para fabricación de circuitos integrados. La magnitud de la resistencia se ajusta según las características de entrada del amplificador.

Para explicar la operación de este circuito, se analizará usando el teorema de superposición. Aplicando una entrada a la vez y todas las demás entradas están en cero. Entonces se determina la corriente de salida cuando se aplica cada una de esas entradas individuales. Por último, se suman todas las salidas para obtener una salida total.

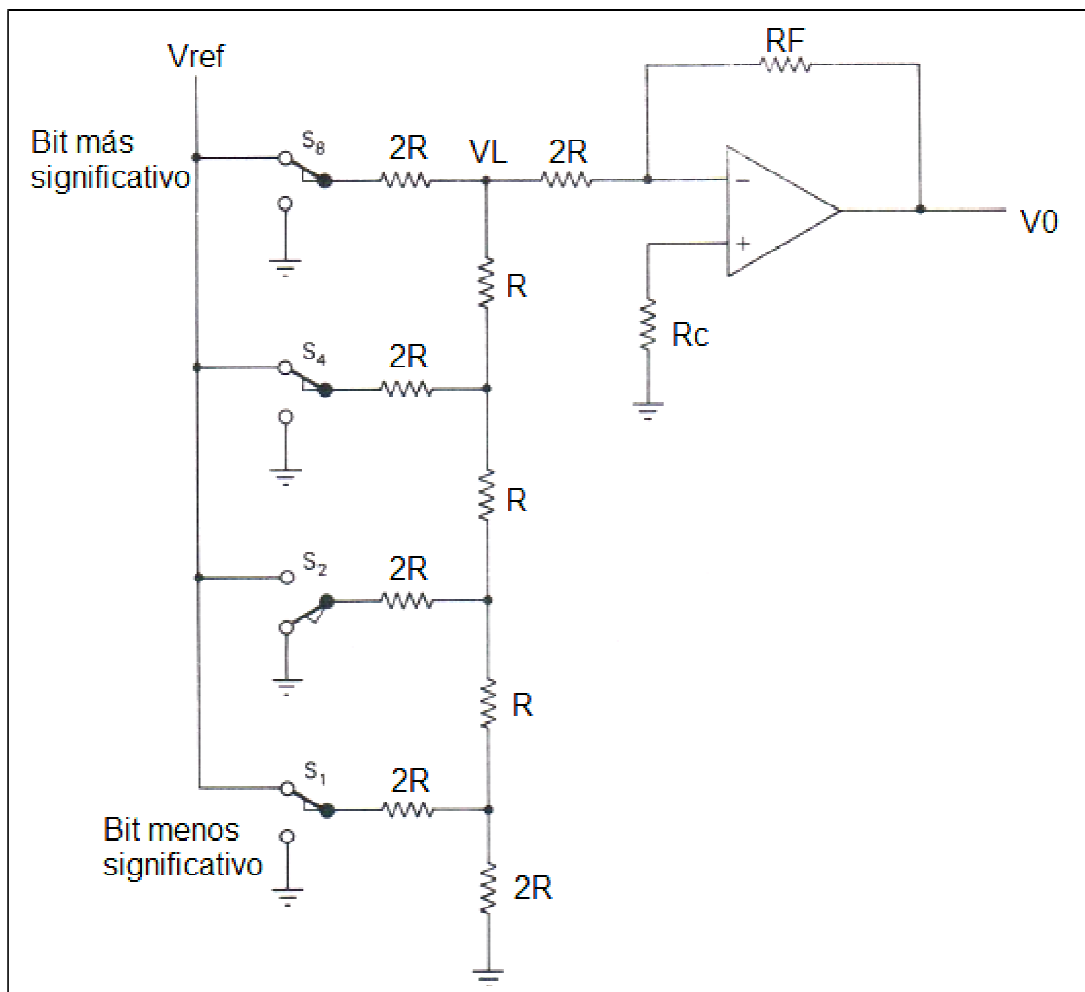


Figura 2.34 Convertidor digital analógico en escalera R-2R. (Stanley y Richard, 1992)

Con este método se considera una corriente que pasa en cualquiera de las entradas aisladas. Cuando la corriente alcanza un nodo se divide en dos, porque en ambas ramas se tiene una resistencia de $2R$. Como resultado de ello, la corriente que entra a cualquier nodo se divide por igual. La corriente que pasa por R_F debida al bit menos significativo es $1/8$ de la corriente debida al bit más significativo. Se pueden fabricar convertidores D/A de 12 y de 16 bits con esta técnica. Sin embargo, la estabilidad, la fuente de poder y el ruido vienen a jugar un papel importante al aumentar el número de bits (Stanley y Richard, 1992).

2.8.2 USOS

Los convertidores digital-analógico se emplean en muchas aplicaciones. Un claro ejemplo es la ayuda que proporcionan a las computadoras para que se comuniquen con el mundo analógico. Por ejemplo, la señal de salida digital de una computadora de procesos no se puede emplear en forma directa para hacer funcionar una válvula de control de flujo de gas. La mayoría de las válvulas comerciales se diseñan para operar con una señal de corriente analógica de 4mA a 20mA, es decir a 4mA la válvula está cerrada y a 20mA está completamente abierta.

La decisión de emplear convertidores D/A en serie o en paralelo se basa en la aplicación final. Por ejemplo, los sistemas de proyectiles militares y la instrumentación moderna por lo general necesitan de la alta velocidad, entonces es más adecuada la operación en paralelo. Las aplicaciones de control de procesos que no necesitan una alta velocidad para procesar información se pueden efectuar de forma lenta, es decir, en forma serie. En general, se considera muy lento un tiempo de conversión de un milisegundo desde el punto de vista de sistemas electrónicos militares, pero muy rápido para un proceso industrial típico. Como la cantidad de entradas al convertidor D/A es un número digital, todas las técnicas de conversión convierten a este número en un dato correspondiente en unidades de corriente, voltaje o carga, para sumar esas unidades a un circuito posteriormente.

Los convertidores A/D de rampa de escalera se usan comúnmente en aplicaciones con relativa simplicidad, pues su tiempo de conversión es bastante lenta y el tiempo de conversión dependerá del voltaje a convertir (V_{ent}).

Los convertidores A/D de aproximaciones sucesivas se utilizan ampliamente debido a su combinación de alta resolución y velocidad, es decir, pueden efectuar conversiones entre 1 [μs] y 50 [μs] en lugar de los milisegundos necesarios por los convertidores de rampa de escalera, doble rampa y voltaje a frecuencia. Sin embargo son más caros.

Los convertidores A/D de doble rampa se emplean ampliamente en aplicaciones en donde la mayor importancia estriba en la inmunidad al ruido, gran exactitud y economía. También para aplicaciones en las que no sea necesarios tiempos breves de conversión.

Los convertidores A/D de voltaje a frecuencia con usos en aplicaciones específicas, en donde la posibilidad de rechazo de ruido es su principal ventaja de este tipo de convertidores. Como los convertidores de voltaje a frecuencia son baratos y su exactitud es moderada y son resistentes al ruido, son seleccionados con mucha frecuencia para utilizarse en medidores de tablero de tres dígitos.

Los convertidores A/D en paralelo o instantáneos se usan en aplicaciones en donde los tiempos de conversión deben ser cortos y debido al gran número de comparadores que pueden tener estos convertidores y que se puede llegar a una gran complejidad del circuito es por lo que se fabrican comercialmente. Por ejemplo se puede encontrar el modelo HACD77300, el cual es un convertidor de 8 bits que efectúa una conversión A/D en 4 [ns], también llamado modelo Haneywell.

2.9 EJEMPLO DE USOS DE SENSORES EN LOS SISTEMAS ANAEROBIOS

En años recientes, gran parte de las investigaciones referentes a los procesos anaerobios han estado orientadas a identificar los parámetros que se pueden utilizar para vigilar el proceso y dar una alerta temprana de inestabilidad en el sistema. De esta forma se ha determinado que la actividad de los diferentes grupos de organismos que participan en el proceso anaerobio puede ser medida indirectamente. Algunos de estos indicadores incluyen comúnmente pH, alcalinidad, concentración de ácidos grasos volátiles, hidrogeno disuelto y la composición del gas.

Sin embargo, es esencial desarrollar métodos para estos parámetros de interés con el fin de indicar el estado de los procesos en tiempo real (Liu y col., 2004). Es aquí en donde juegan un papel importante los sensores, pues cumplen con todas las características requeridas para un sensado en tiempo real, con buena precisión y sobre todo a bajo costo. También se predicen por medio de sensores

posibles factores de inestabilidad en un sistema anaerobio. Pues al hablar de procesos desempeñados en un sistema anaerobio se habla de procesos que involucran población de microorganismos en un equilibrio de actividades, pues un ejemplo claro es al hablar en un reactor anaerobio en donde un incremento en los ácidos grasos volátiles, por ejemplo, produce un decremento del pH en la solución, lo cual subsecuentemente inhibe la etapa de metanogénesis produciendo deficiencias en el proceso (Witkowska y col., 2010).

En los últimos años la electrónica se ha enfocado en múltiples aplicaciones de sensores los cuales son encargados de dar una lectura de varios procesos de monitoreo. Estos procesos se enfocan a varios sistemas, en donde los más usados son los de fermentación y tratamiento de aguas residuales, pues los sensores presentan las características de rapidez en la medición al mismo tiempo que son económicos y con un buen manejo se puede emplear su lectura para automatizar todo un proceso completo.

Los sensores son de suma importancia en sistemas anaerobios, pues una de las principales características es que un sensor economiza tanto la labor de manos trabajando como el costo empleado, siendo un dispositivo que dependiendo de la aplicación estará en continuo funcionamiento día y noche si así se requiere. Son utilizados muchas veces en procesos tan complejos que involucran múltiples variables de interés, de tal forma que se necesita tener una detección en un momento preciso o a cada momento. Una medición manual demoraría tiempo, lo cual en ocasiones son situaciones que las empresas no se pueden contemplar, en cambio, usando sensores se habla de una detección actual y en cada instante del proceso.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1 REACTOR ANAEROBIO PROPUESTO

Existe un reactor anaerobio, el cual está instalado en el comedor de ingeniería Cibarium. Este modelo se ha visto como una alternativa moderna de alimentación, con concepto vanguardista y sobre todo con una cocina de alto diseño e iluminación con ahorro de energía, aunado a esto se trata de dar un crecimiento a esta cafetería-restaurant para beneficiar y dar autonomía a este lugar y que mejor que obtener todo esto a partir de residuos. Esto se enfoca al ahorro de energía a partir de desechos biológicos.

El sistema funciona por medio de un reactor anaerobio que se encargará de procesar todos los desechos orgánicos generados en el Cibarium, los cuales serán aptos para la generación de metano. Este metano se usará en la cocción de los alimentos y que pasa a reemplazar el uso del gas LP de este centro. Los puntos de interés serían los intervalos adecuados de presión, temperatura, cantidad de metano generada, cantidad de dióxido de carbono generada, nivel de carga orgánica, pH y posibles fugas que pudieran presentarse.

La importancia de esta tesis es garantizar un buen sensado electrónico de estas variables y dar seguridad al proceso, pues al hablar de metano se habla de material altamente explosivo. En las Figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5 se muestran las dimensiones con que cuenta este reactor anaerobio, múltiples vistas detallando las medidas de tubería que lo conforman, así como diámetros, muros y alturas. Este sistema se encuentra instalado hoy día en el patio trasero del Cibarium.

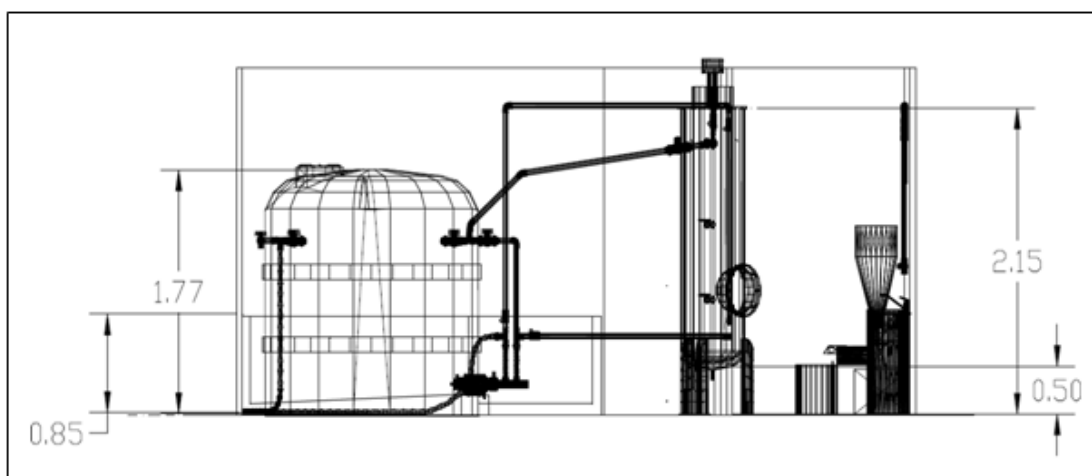


Figura 3.1 Plano con acotaciones vista lateral de planta de biogás (Juárez-Hernández, 2011)

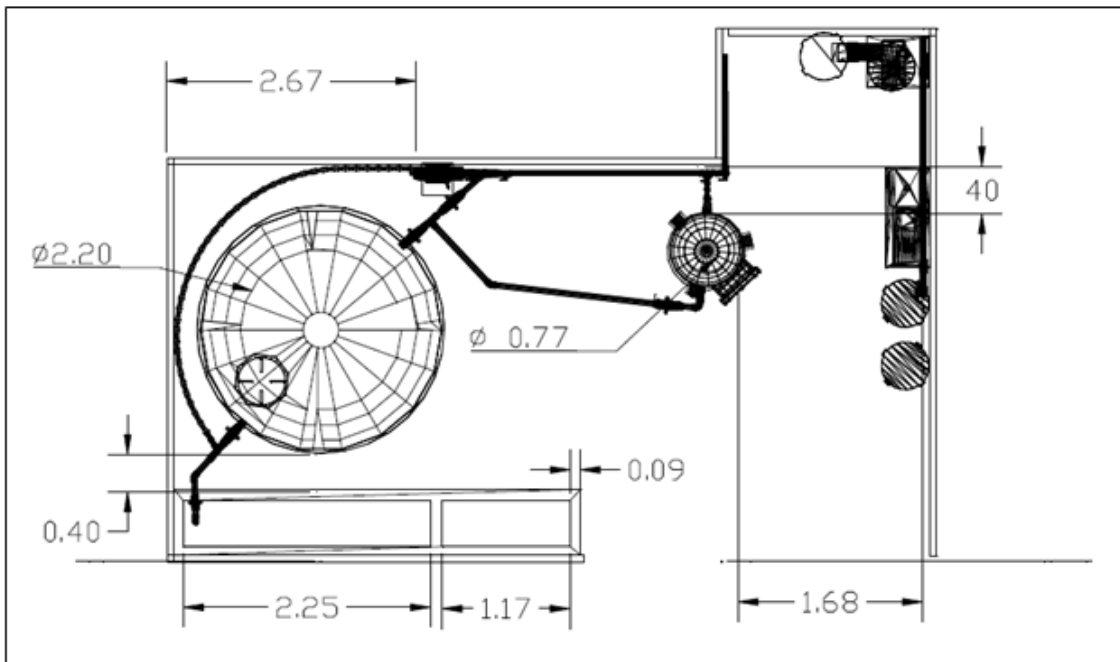


Figura 3.2 Plano con acotaciones vista superior de la planta de biogás (Juárez-Hernández, 2011)

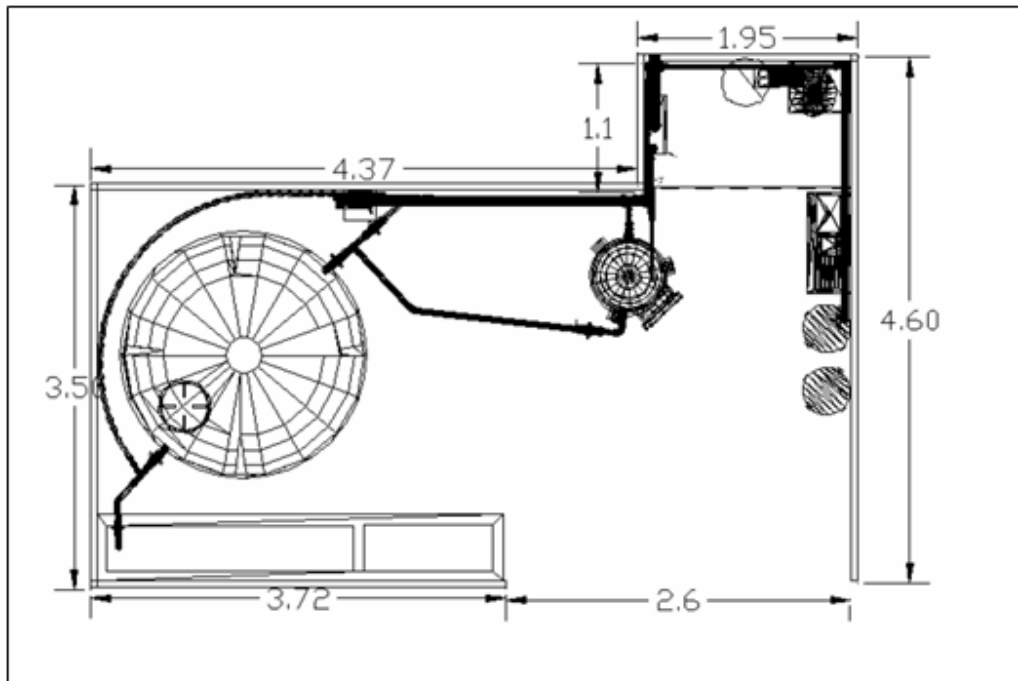


Figura 3.3 Plano con acotaciones vista superior referente a muros de la planta de biogás (Juárez-Hernández, 2011)

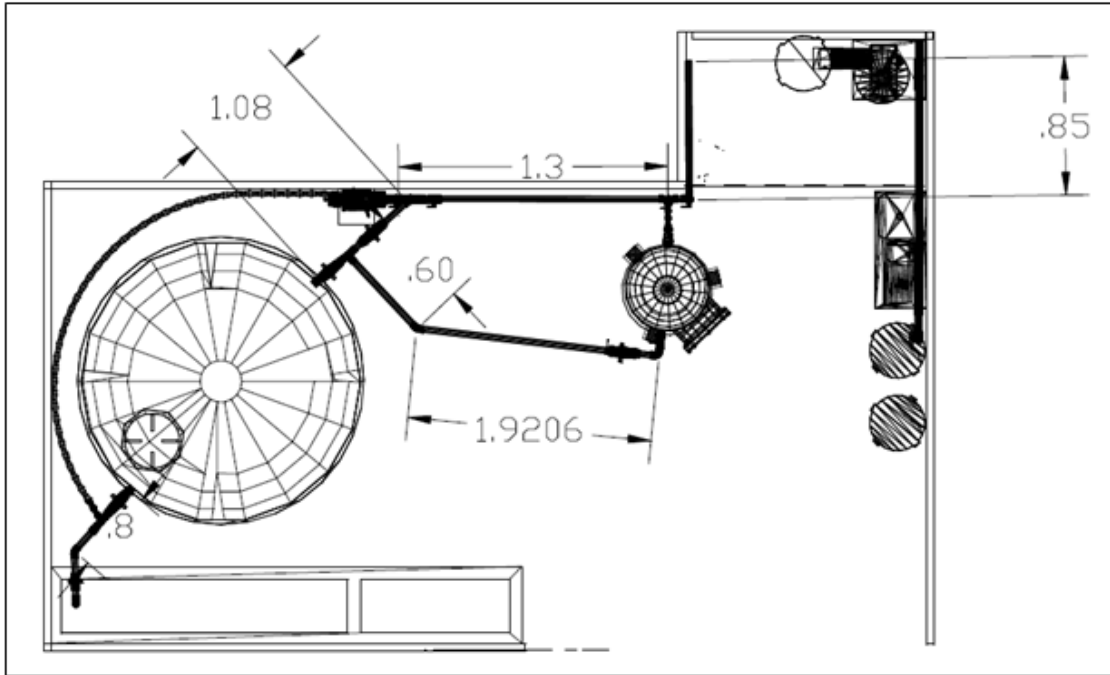


Figura 3.4 Plano con acotaciones vista superior referente a tuberías de la planta de biogás (Juárez-Hernández, 2011)

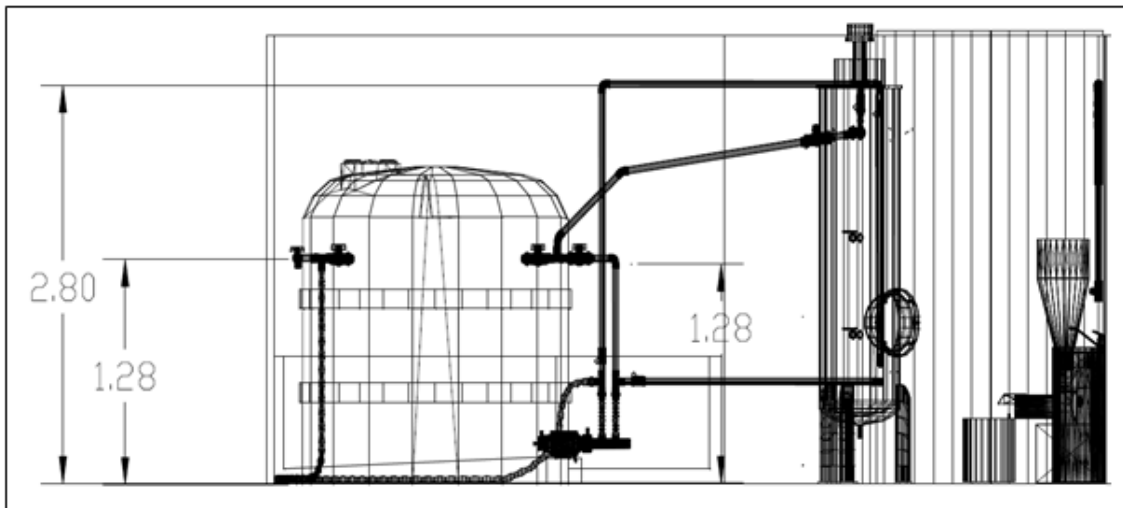


Figura 3.5 Plano con acotaciones vista lateral referente a tuberías de la planta de biogás (Juárez-Hernández, 2011)

3.2 PARÁMETROS DE CONTROL A IMPLEMENTAR

Los parámetros a implementar en este reactor anaerobio serán los de mayor importancia para la subsistencia del sistema. Para producir biogás con buena estabilidad, sin dejar de lado, que los datos obtenidos por medio del sensado electrónico servirán para mantener un registro de la evolución en este proceso. Y podrán ser interpretados por cualquier persona. Por este medio en tiempos futuros se podrán probar nuevas cargas orgánicas y medir su factibilidad para producir biogás.

3.2.1 SENSADO ELECTRÓNICO DE PH

El valor ideal de pH en que se implementará en este reactor anaerobio es de 7 debido a que debe mantenerse la supervivencia de las bacterias. Lo que sucede al salir el pH de este rango, es que se corre el riesgo de generar anomalías y puede terminar con la vida de los microorganismos inhibiendo todo el proceso que limitará o incluso terminará con la producción de biogás.

Para lograr este sensado electrónico se usó la tecnología que ofrece el electrodo de pH. El método permite determinar el pH midiendo el potencial generado (en mili volts) por este dispositivo, este potencial se compara contra un electrodo de referencia que se muestra en la Figura 3.6 (que tiene en su interior el electrodo general). De esta forma se genera un potencial el cual es constante a la solución de pH que se está midiendo. El electrodo de referencia que se usa es el de calomel saturado con cloruro de potasio, el cual sirve como puente salino que permite el paso de los mili volts generados hacia el circuito de medición.

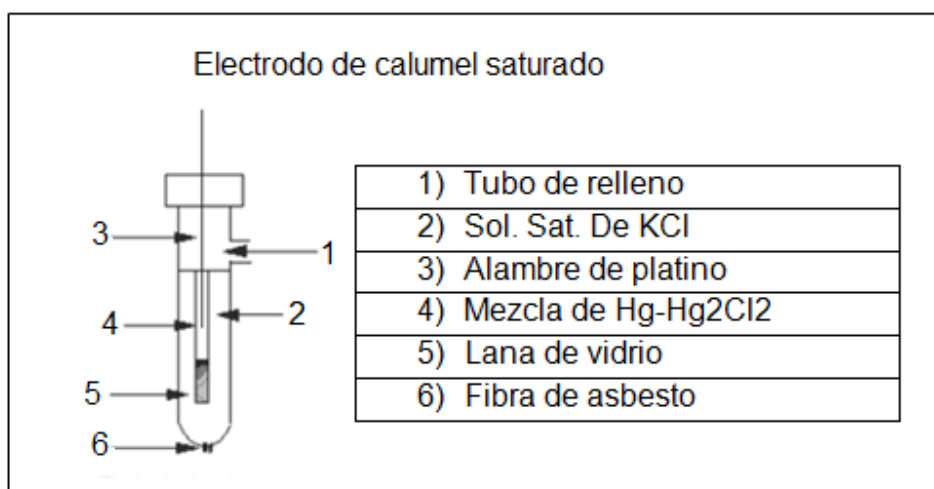


Figura 3.6 Electrodo de Referencia (Ciganda, 2004)

En la Figura 3.7 se muestra la forma que tiene el electrodo de medición (Ciganda, 2004).

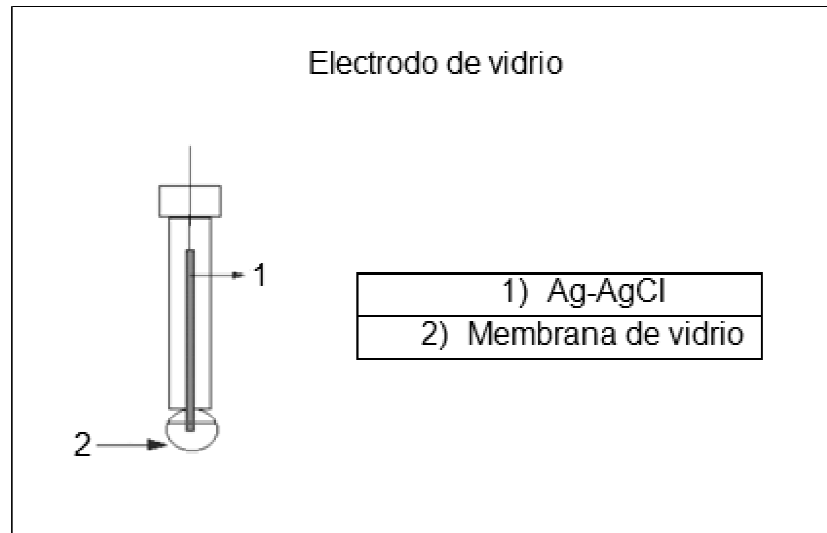


Figura 3.7 Electrodo de medición (Ciganda, 2004)

3.2.2 SENSADO ELECTRÓNICO DE METANO

Por medio de este sensor se sabrá la producción de metano de la degradación anaerobia, a partir de cada carga que es puesta en el reactor anaerobio para su posterior degradación. El punto de partida es un sensor TGS2611 fabricado por Figaro Engineering Company la cual es una empresa reconocido mundialmente. El TGS2611 es un semiconductor tipo sensor de gas el cual combina una alta sensibilidad al gas metano con un bajo consumo de potencia y largo tiempo de vida. El sensor TGS2611-COO en específico tiene un tamaño pequeño y rápida respuesta al gas. Haciéndolo conveniente para inspeccionar fuentes de salida respecto al gas metano.

En la Figura 3.8 se muestra como el sensor necesita dos voltajes de entrada: Un voltaje calentador (V_H) y el voltaje del circuito (V_C). El voltaje calentador es aplicado al calentador integrado con intención de mantener el elemento sensado a una temperatura específica la cual es la óptima para la detección. El voltaje del circuito (V_C) es aplicado para permitir la medición del voltaje (V_{RL}) a través de la carga (R_L) la cual es conectada en serie con el sensor. Una fuente de poder común puede ser usada para (V_C) y (V_H) y así satisfacer los requerimientos eléctricos del sensor (FIGARO PRODUCT INFORMATION, 2005).

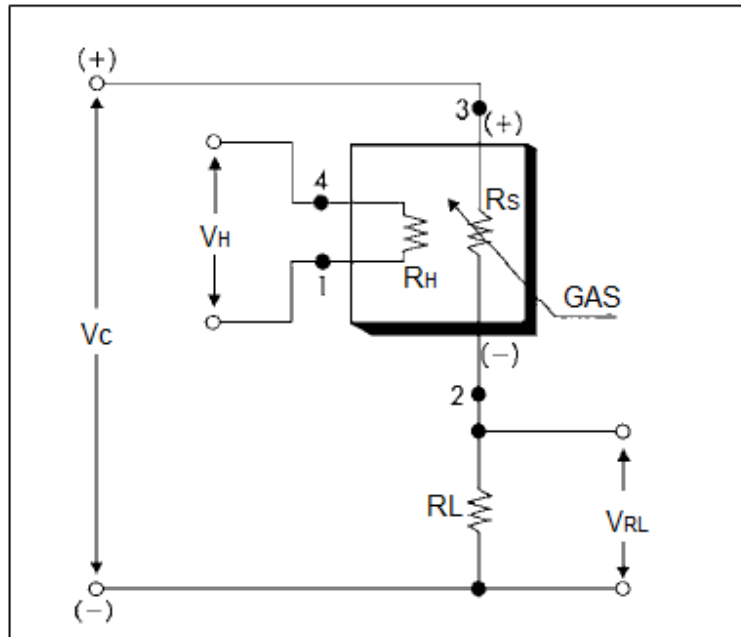


Figura 3.8 Diagrama básico del circuito (FIGARO PRODUCT INFORMATION, 2005)

3.2.3 SENSADO ELECTRÓNICO DE DIÓXIDO DE CARBONO

Con el sensor K22 del fabricante Figaro Gas Sensor se puede saber la concentración de dióxido de carbono que es generado en el reactor anaerobio para concluir el buen estado de este proceso. El sensor K22 es un sensor compuesto por un elemento sensible al dióxido de carbono y también compuesto por un acondicionamiento de señal que entrega una salida lineal de 0 a 5 volts de acuerdo a la cantidad de CO₂ a la cual es sometido. Su intervalo de operación en el cual detecta dióxido de carbono es de 0 a 2,000 ppm.

Este dispositivo puede ser encontrado en 3 pres diferentes clases dependiendo de su aplicación. Se encuentra el modelo K22-LO con salida lineal de 0 a 5 volts, K22 OC colector abierto (abierto >800 ppm, cerrado <1,000 ppm) y K22 PWM el cual es un colector abierto con modulación por ancho de pulso contando todos con un intervalo de medición de 2 segundos. (FIGARO PRODUCT INFORMATION, 2010).

3.2.4 SENSADO ELECTRÓNICO DE TEMPERATURA

Para esta parte del sistema se empleará un sensor LM35. Las series LM35 son sensores de temperatura en circuitos integrados. Este dispositivo esta calibrado directamente en grados Celsius (centígrados), y entrega 10 mili-volts por cada

grado centígrado, manejando así un intervalo comprendido entre -55°C a 150°C . El LM35 presenta un voltaje de salida que es proporcional a la temperatura en grados Celsius, por lo tanto, tiene la ventaja sobre otros sensores calibrados en Kelvin, ya que el usuario no está obligado a restar un gran voltaje de la salida. Proporciona así una precisión de $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ a temperatura ambiente y $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ en todo el intervalo de -55°C a 150°C . En la Figura 3.9 se muestra el sensor en una configuración básica para trabajar en el intervalo comprendido desde 2°C a 150°C con una respuesta lineal, es decir, en donde el voltaje de salida es proporcional a la temperatura a la que se encuentra el sensor LM35 y que es medible entre la terminal de salida y GND.

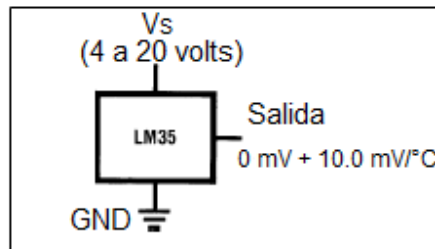


Figura 3.9 Configuración básica de 2°C a 150°C (National Semiconductor, 2000)

3.2.5 SENSADO ELECTRÓNICO DE PRESIÓN

El punto de partida será un sensor de las series MPX fabricados especialmente por Motorola. Este dispositivo es un sensor piezoeléctrico que puede medir hasta 10 kPa (kilo pascales), el cual, se usará para saber a qué presión se encuentra el metano que es producido por medio de la degradación anaerobia. De esta forma a una presión comprendida entre 10 a 20 cmH_2O (centímetros de columna de agua), donde su equivalencia en kilo pascales es entre 0.98 a 1.96 respectivamente el metano es apto para llevar a cabo una combustión. Pues si la presión llega a salir de este intervalo la combustión no se lleva a cabo. Este proceso de combustión se usará para tener una fuente de energía a base de gas metano el cual contamina 24 veces menos que el dióxido de carbono.

El dispositivo que ayudará a medir y tener una presión adecuada para poder llevar a cabo una combustión constante es el sensor MPX2010DP. El cual presenta un voltaje de salida que es directamente proporcional a la presión que se le aplica. El sensor es calibrado por medio de laser para aumentar su precisión, disminuir offset y compensar los cambios en temperatura. En la Figura 3.10 se muestra en diagrama de bloques el interior de este dispositivo detallando su circuitería interna

que hace capaz el sensado de presión. Este diagrama contempla una sección en donde la temperatura es compensada y la presión del sensor es calibrada. La compensación de temperatura con que cuenta este dispositivo maneja el intervalo de 0°C a 85°C. Mientras que en la Figura 3.11 se de talla mejor la linealidad que presenta este dispositivo a cambios de presión.

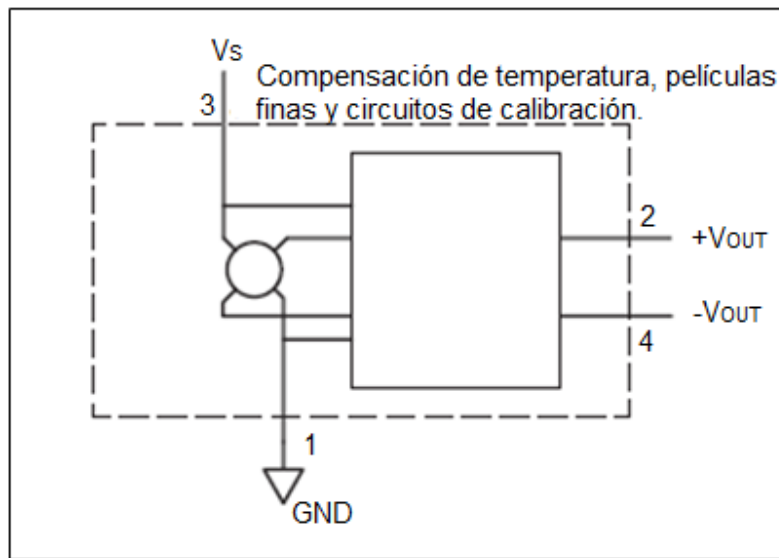


Figura 3.10 Diagrama interno de MPX2010DP (MOTOROLA TECHNICAL DATA, 2002)

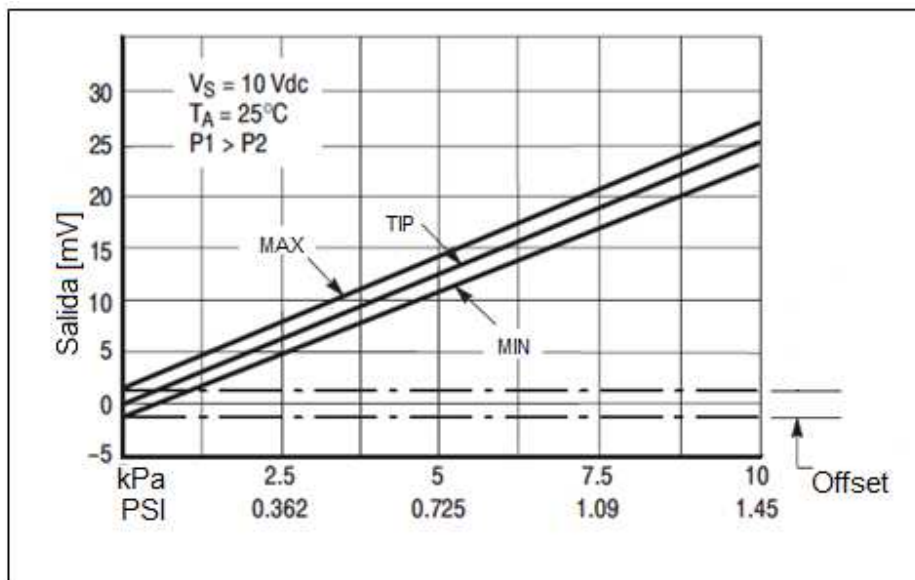


Figura 3.11 Voltaje de salida vs presión de MPX2010DP (MOTOROLA TECHNICAL DATA, 2002)

3.2.6 MEDIDOR DE NIVEL ELECTRÓNICO

El medidor de nivel es un punto importante en el reactor anaerobio, pues de él depende indicar si la carga orgánica contenida en el reactor se encuentra dentro de un intervalo específico. Por medio de este medidor se conocerá si la carga es escasa en el reactor o, en caso contrario, saber si está sobrecargado. Esta variable es de importancia pues la producción de biogás es proporcional a la carga orgánica que es degradada en el interior del reactor. De esta forma se garantiza que el suministro de carga orgánica será constante y no habrá alteraciones en este ciclo.

El sistema que se desarrolló para medir el nivel de carga orgánica contenida en el reactor anaerobio, se aprovecha de la conductividad que presenta el agua. Pues esta carga orgánica contiene un porcentaje de agua, lo suficiente como para tener buena conductividad en la mezcla. Partiendo de este principio el medidor de nivel contendrá únicamente dos indicadores (leds), los cuales encenderán si el nivel se mantiene igual o mayor al punto a que hacen referencia. Así al tener dos indicadores se fija un intervalo estable el cual no deberá sobrepasarse para el suministro de carga orgánica.

El punto de partida como se muestra en la Figura 3.12 y 3.13 son dos cilindros que cubren el conductor de cobre, estos cilindros cumplen la función de mantener aislado al material contenido en su interior. De esta forma al momento de



Figura 3.12 Diseño de recubrimientos para conductor de cobre. Parte interior del reactor.

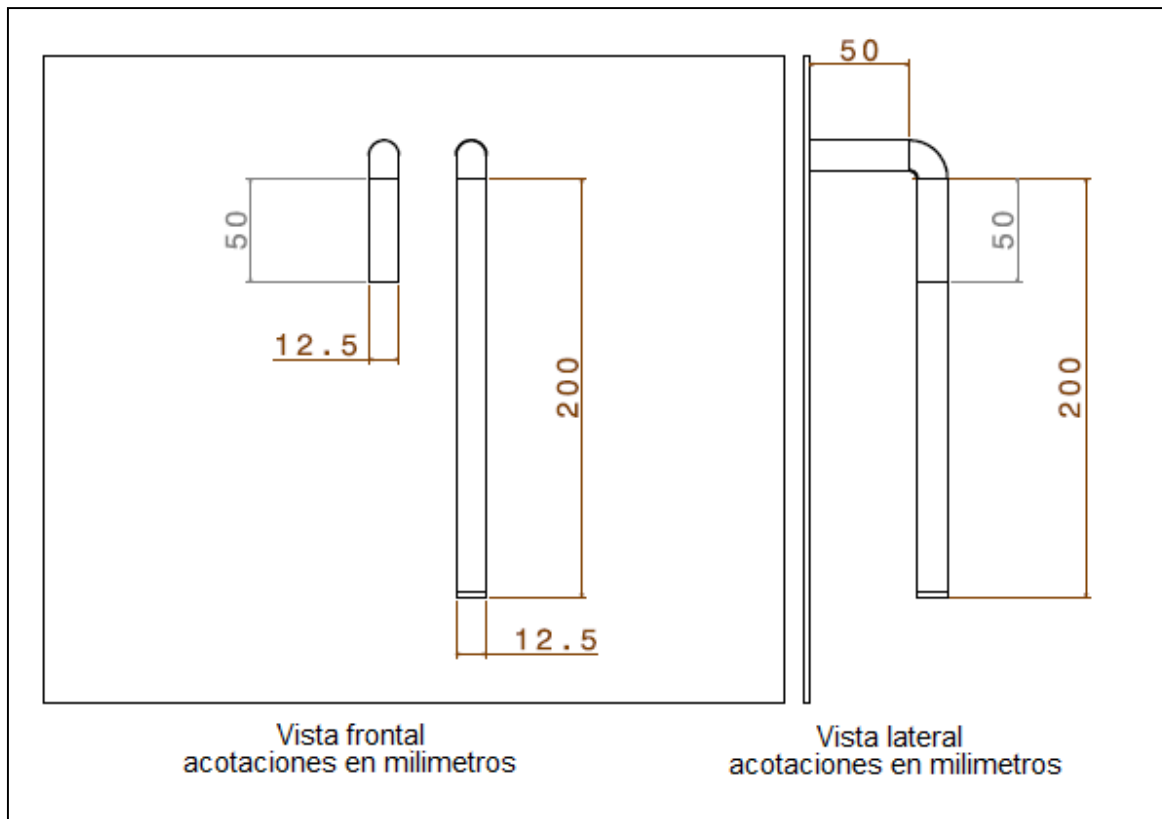


Figura 3.13 Diseño de recubrimientos para conductor de cobre. Parte interior del reactor con acotaciones.

descender o ascender el nivel de carga orgánica el material conductor no estará en contacto con las paredes del reactor. Así se busca que posibles escurrimientos o posibles concentraciones de carga orgánica no originen falsa detección. Este circuito será alimentado con una fuente de corriente alterna para que de esta forma no se produzca electrólisis, la cual es originada con corriente directa. Por esta razón se emplea un transformador, pues al tratarse únicamente de un circuito funcionando como interruptor gracias a la conductividad del agua, tanto voltaje como corriente serán necesarios para encender e iluminar correctamente los diodos led.

3.3 ELECTRÓNICA EN PARÁMETROS DE CONTROL A IMPLEMENTAR

Una vez teniendo en cuenta los parámetros de control a implementar se requiere un convertidor analógico digital, pues los transductores para medición de temperatura, metano, dióxido de carbono, pH y presión son capaces de entregar una medición analógica. Dependiendo de su variable de sensado, esta señal analógica cuenta con diferentes escalas dependiendo del sensor a emplear, es decir, se necesita un sistema que pueda acondicionar la señal y adaptarla a una

escala. Estas variables se necesitan digitalizar para desplegar su medición en un desplegado de 7 segmentos.

En pocas palabras, se necesita la electrónica suficiente que sea capaz de entregar una lectura digital, y que esta sea linealmente proporcional a la lectura analógica entregada por el transductor. Es decir, ésta señal pasa por una etapa de acondicionamiento para ser entregada a un convertidor analógico digital.

Esta etapa de acondicionamiento de señal incluye la lectura analógica que es entregada por el transductor y que debe de tener un valor comprendido en el intervalo de operación. Es decir, el intervalo de operación del convertidor analógico digital. Una vez que se tiene esta lectura digital, se necesita un circuito capaz de dividir en unidades, decenas, centenas, etc. (de acuerdo a la resolución que se necesite) los bits obtenidos del convertidor analógico digital incluyendo una etapa que diferencie una lectura positiva de una negativa, para pasar posteriormente a decodificadores de 7 segmentos. Estos decodificadores de 7 segmentos cumplen la función de desplegar una lectura digital de fácil visualización para cualquier usuario.

La evolución de todo este sistema a implementar incluyó investigación, análisis y diseño para lograr prototipos. Estos prototipos contemplan desde convertidores analógicos digitales, acondicionadores de señal y circuitería necesaria para funciones específicas como por ejemplo desplegar una medición en display de 7 segmentos. Siguiendo con las etapas de investigación, análisis y diseño se logró un modelo final. Este modelo final se beneficia en gran parte del circuito integrado ICL7107 fabricado por Intersil, este dispositivo es capaz de entregar una lectura final de $3 \frac{1}{2}$ dígitos y distingue una medición positiva de una negativa. Ésto implica un conteo de -1999 a 1999 y con punto decimal fijo, el cual se puede ubicar de acuerdo a la escala de medición.

Internamente el ICL7107 contempla dos secciones una analógica y otra digital que incluye decodificadores de siete segmentos, una referencia y también un reloj interno. El tipo de convertidor analógico digital que emplea es del tipo doble rampa, de esta forma el sistema puede suprimir la mayor parte del ruido de la señal de entrada debido a que emplea un integrador para efectuar la conversión. La principal aplicación de estos convertidores es en equipos de medición y de gran resolución, más comúnmente en multímetro y equipo médico.

Este circuito integrado proporciona entonces grandes ventajas y a un costo muy bajo y garantizando una lectura de 0 V de entrada en todas las escalas, 1 pA corriente de entrada típica, bajo nivel de ruido, buena estabilidad y no se requieren circuitos adicionales, pues hasta contiene un reloj interno. Este dispositivo está hecho a la medida de acuerdo a las necesidades de esta tesis.

De esta forma en la Figura 3.14 se muestra un primer prototipo del modelo final el cual fue armado en tarjeta protoboard, se logró de esta forma comprobar los aspectos antes mencionados y características de diseño. Mientras que en las Figuras 3.15, 3.16 y 3.17 se muestra todo el procedimiento, el diseño y elaboración del circuito impreso en el software EAGLE 5.4.0, partiendo para este diseño del prototipo hecho en protoboard. De esta forma se tienen ventajas al momento de hacer un circuito impreso, pues se disminuye el espacio ocupado por el circuito, la posibilidad de cortos circuitos y fallas por alambrado.

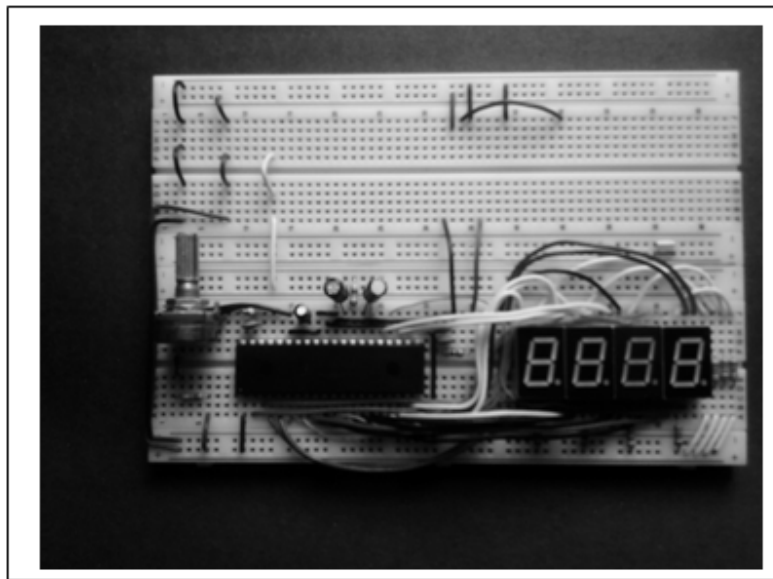


Figura 3.14 Primer prototipo empleando ICL7107

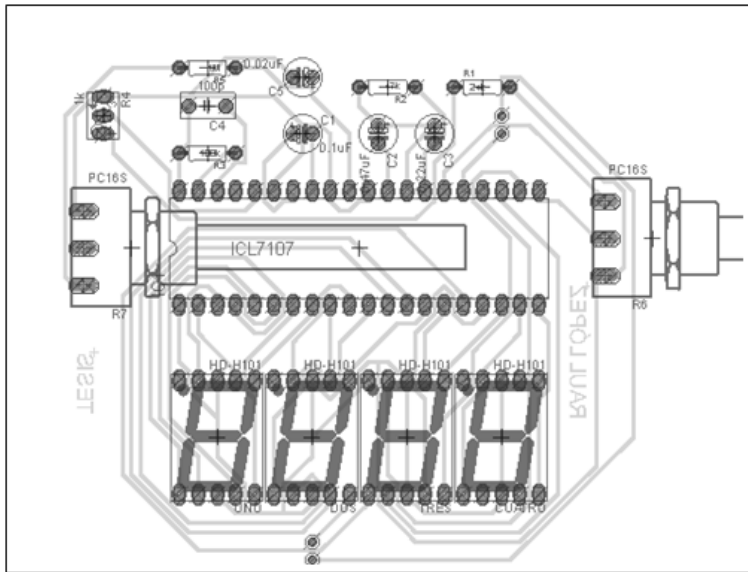


Figura 3.15 Diseño y ubicación de componentes en software EAGLE 5.4.0

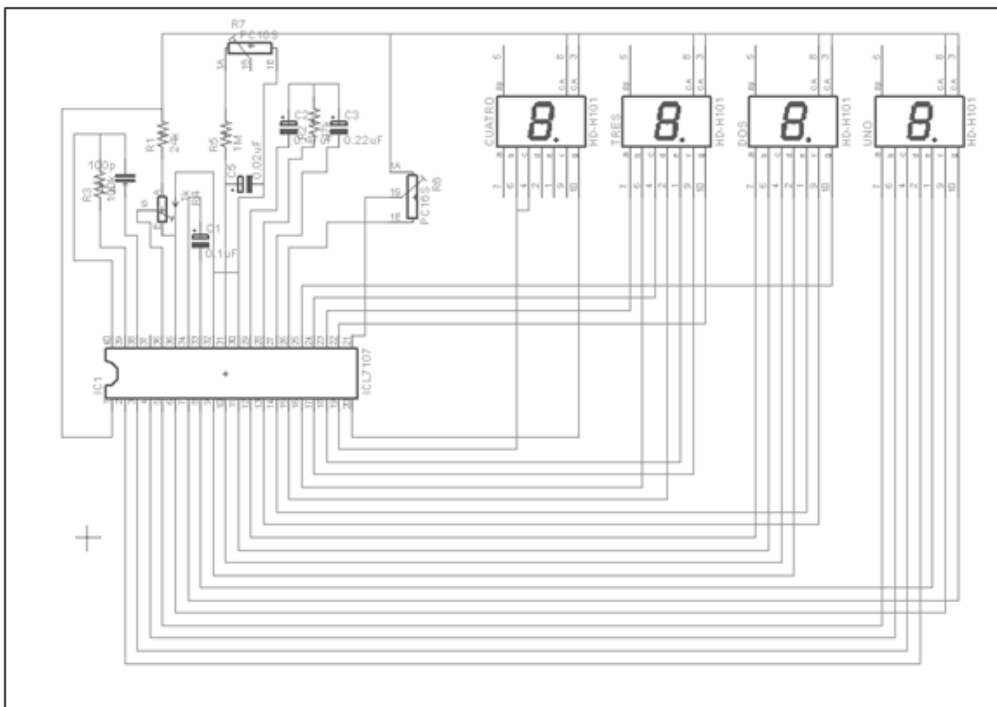


Figura 3.16 Diagrama de conexiones para ICL7107

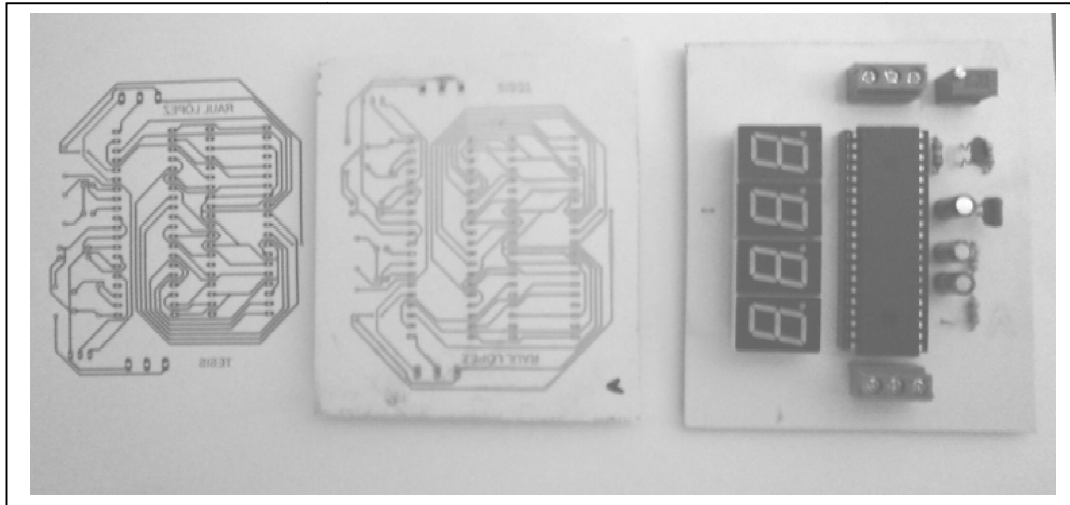


Figura 3.17 Construcción final del circuito impreso

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1 SISTEMAS ELECTRÓNICOS PROPUESTOS

4.1.1 SENSADO ELECTRÓNICO DE PH

El punto de partida fue un electrodo de pH. Este electrodo produjo un voltaje diferencia, el cual es consecuencia de un electrodo de referencia y uno de medición que se encuentran interactuando en el mismo cuerpo. Esta señal dependiendo de la muestra a sensar tiene una variación muy pequeña de voltaje, en el orden de mili volts, por esta razón se decidió introducir esta señal a un amplificador de instrumentación AD620, el cual es un amplificador de bajo costo, bajo ruido de tan solo 0.28 uV pico-pico de 0.1 a 10 Hz, bajo consumo y se habla de un dispositivo con aplicaciones en interfaces de transductores e instrumentación medica.

Esto con la finalidad de reducir señales indeseadas y señales comunes a la entrada del amplificador junto con una ganancia ajustable de 1 hasta 1000. De esta forma a la salida del amplificador AD620 se cuenta únicamente con la diferencia de voltaje que es proporcional a la solución de pH a sensar. Sin embargo la señal de salida contemplando que es lineal, no necesariamente empieza desde un voltaje “cero”, por esta razón se uso un segundo amplificador de uso general (TI082). Este amplificador tiene la única finalidad de dar una lectura de 1 hasta 14 en la escala de pH.

Esto lo logra dando una ganancia al voltaje que entrega el amplificador de instrumentación a la salida. Con la finalidad de que a un voltaje dado correspondiente a un pH de 4 (por ejemplo) este amplificador por su terminal inversora de la ganancia necesaria para fijarlo a 4 ó 40 ó 400 mV dependiendo de la resolución que se desee. Junto a esto se añade al amplificador una configuración para sumar dos señales en su terminal no inversora. Por un lado se encuentra la salida del amplificador de instrumentación y por otro lado un potenciómetro haciendo un divisor de tensión entre un voltaje positivo y uno negativo, esto con la finalidad de hacer un ajuste a “cero” (para más información consultar el apartado DIAGRAMAS ELECTRONICOS).

4.1.2 SENSADO ELECTRÓNICO DE METANO

Usando un sensor TGS 2611-E00 de la marca Figaro el cual tiene un filtro en su estructura para eliminar la influencia o interferencia de otros gases tales como alcoholes, de esta forma, presenta una respuesta muy selectiva al gas metano a bajo costo y larga vida. Este sensor tiene múltiples aplicaciones entre las más destacadas están la de alarmas de gas y detectores portátiles a partir de una polarización de 5 volts.

Este sensor entrega una lectura la cual es proporcional a las partes por millón de metano con que cuenta una mezcla de sustancias en estado gaseoso, en este caso el reactor anaerobio. La finalidad del sensor es dar una lectura confiable acerca de la producción de metano en el interior del reactor. Este sensor es apto para trabajar a partir de 0 ppm hasta 1000 ppm la cual es la medición de interés, pues la producción de metano aumenta cada día y está en constante crecimiento.

4.1.3 SENSADO ELECTRÓNICO DE DIÓXIDO DE CARBONO

Por medio de un módulo K22 de Figaro Gas Sensor se obtuvo una salida proporcional a la cantidad de dióxido de carbono en estado gaseoso a la cual es sometido el sensor. El sensor entrega una salida lineal de 0 a 5 [V], pues se decidió usar el modelo K22-LO gracias a su salida lineal. Este dispositivo tiene una etapa de calibración automática, tamaño pequeño, bajo costo, libre de mantenimiento (con una vida útil mayor a los 15 años).

Este sensor cuenta con aplicaciones en limpiadores de aire, controles de combustión y analizadores de gases entre los más usados. Es una tecnología patentada que a través de un sensor óptico garantiza una buena precisión y buena estabilidad. Con un tamaño de 6.5 cm por 6.5 cm (largo x ancho) se obtuvo una salida lineal que depende directamente de la cantidad de dióxido de carbono que pasa a través del sensor. A esta salida se le agregó un divisor de tensión para que a cada voltaje que es referente a cada ppm entregará la lectura correcta, es decir, ajustarlo a una escala menor a 200 [mV] para poder ser desplegados por el ICL7107.

Esto se logra a través de un divisor de tensión conformado por un potenciómetro para su ajuste fino. Se obtiene que para 1 volt de medición corresponde a 400 ppm, de esta forma en el divisor se muestra en la Figura 4.1 Donde R1 corresponde a 9,600[Ω], R2 300[Ω] y R2' un potenciómetro de 200[Ω] (con la

finalidad de hacer entre R2 y R2' un ajuste fino haciendo una resistencia de 400 Ω).

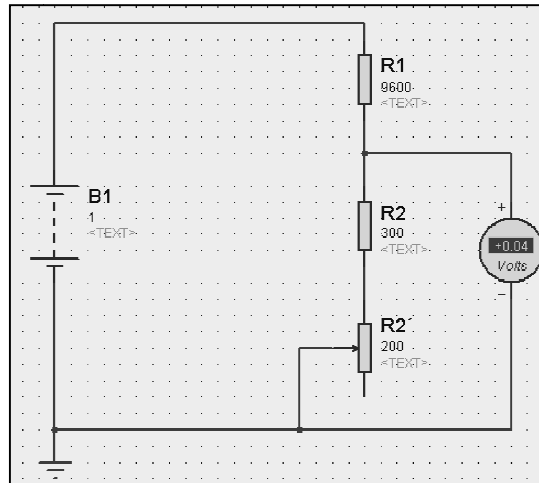


Figura 4.1 Acondicionamiento de señal para K22-LO

4.1.4 SENSADO ELECTRÓNICO DE TEMPERATURA

Para este sistema el punto principal fue el transductor LM35. Su salida analógica es aplicada en la entrada del circuito integrado ICL7107. Previamente su señal es acondicionada al intervalo de operación del circuito integrado, pues este maneja hasta 200 [mV], mientras que el transductor entrega 10 [mV/°C]. Por esta razón al llegar a 20 [°C] el ICL7107 no podrá mostrar temperaturas superiores, pues se encuentra en su escala máxima. Es por esta razón que se hace un divisor de tensión, obteniendo de esta forma una atenuación de 0.1 para que la medición que entrega el LM35 en vez de ser de 10 [mV/°C], ahora sea de 1 [mV/°C] y el circuito integrado ICL7107 pueda abarcar todo el intervalo con el que se va a usar el LM35.

Debido a que las resistencias usadas para el divisor de tensión no son exactas, se obtuvo un voltaje aproximado a 1 [mV/°C] el cual se puede convertir en un problema al manejar temperaturas grandes. Este pequeño error se incrementa con cada grado centígrado y es por eso que se trata de calibrar adecuadamente cualquier dispositivo, en este caso el LM35. Para lograr esto se usó un multímetro, el cual mide directamente la salida en volts del LM35 (sin pasar por el divisor de tensión), y una vez conectado el circuito impreso que contiene al ICL7107 se comparan las dos mediciones, tomando como patrón a la medición del multímetro. El circuito ICL7107 tiene un potenciómetro, el cual se encarga de dar ganancia o

atenuar la lectura que entrega. Es en este dispositivo donde se manipula para hacer cuadrar las dos lecturas, disminuyendo el error por calibración en gran forma.

Es así como se logró tener un sistema capaz de sensor temperatura con gran precisión, esta precisión es entregada gracias al LM35. El cual está calibrado directamente en grados centígrados y no necesita otra calibración adicional para empezar a entregar una lectura proporcional a 10 [mV/°C]. Este dispositivo tiene una pequeña variación de $\pm 3/4$ [°C] a lo largo de todo el intervalo de operación, este intervalo contempla desde -55 [°C] hasta 150 [°C].

4.1.5 SENSADO ELECTRÓNICO DE PRESIÓN

El corazón de este sistema es el sensor MPX2010DP el cual proporciona un voltaje lineal de salida respecto a la presión aplicada en este sensor. Se decidió emplear este dispositivo pues presenta presiones diferenciales, es decir, entrega una lectura que es proporcional a la diferencia de sus dos puntos de sensado. En donde un punto de sensado se encuentra a presión atmosférica del lugar mientras que el otro punto se encuentra enfocado a la lectura de interés, haciendo a este sistema capaz de operar a distintas alturas (donde la presión atmosférica cambia) sin verse afectada la lectura que entrega.

Logrando así que el sensor diera una lectura a la entrada del convertidor analógico digital de 2.5 [mV] / [kPa], con un tiempo de respuesta de 1 [ms], una vez calibrado el integrado ICL7107, se logró que el sensor indicara una lectura digital equivalente a 1 [kPa] por cada 2.5 [mV] que entregaba el sensor a la entrada del convertidor analógico digital. La calibración se logró por medio de multímetro, logrando así la proporcionalidad de entrada respecto a la salida.

4.1.6 MEDIDOR DE NIVEL ELECTRÓNICO

Por medio de un transformador (para evitar el efecto de electrólisis que es generado por corriente directa) se logró realizar un sensor capaz de detectar un intervalo de nivel al cual se encuentra la carga orgánica. Esto se logra por medio del diagrama mostrado en la Figura 4.2 donde se puede apreciar que los leds forman un intervalo de detección entre la distancia a la cual se encuentran separados.

Este principio se aprovecha la conductividad con que cuenta la carga orgánica, pues esta contiene agua en su consistencia. De esta forma la misma

conductividad de la carga orgánica es la encargada de cerrar el circuito y encender dos indicadores de acuerdo al nivel de carga orgánica. El transformador es un transformador reductor en donde el devanado primario presenta 120 [VAC] para obtener en el secundario 12 [VAC] con 250 [mA]. Sin embargo los leds al funcionar en corriente alterna pueden ser dañados o disminuir su tiempo de vida gracias al pico inverso de corriente.

Este pico inverso se evitó añadiendo diodos en cada bloque de leds pues para indicar el nivel de carga orgánica se decidió usar dos bloques, cada uno conformado por tres leds. El consumo de cada bloque de tres leds es de 35 [mA] y 12 [V] mientras que el voltaje pico-pico suministrado es de 20.6 [V]. A partir de esto se obtienen cálculos para obtener una resistencia capaz de proporcionar el voltaje y corriente que es puesta en serie al led. El led es protegido por un diodo 1N4004 capaz de soportar un voltaje en inversa de 400 [V] y una corriente de 1 [A].

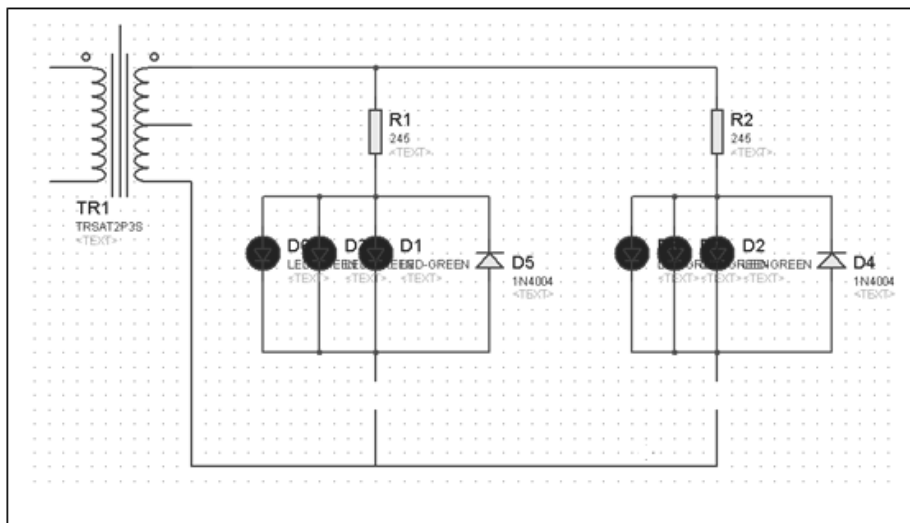


Figura 4.2 Diagrama del sistema para detección de nivel

4.2 DIAGRAMAS ELECTRÓNICOS

FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA ICL7107

A través de un software para realización de circuitos impresos (EAGLE 5.4.0) se realizó una ubicación de componentes así como su esquemático señalando cada dispositivo con que cuenta este circuito.

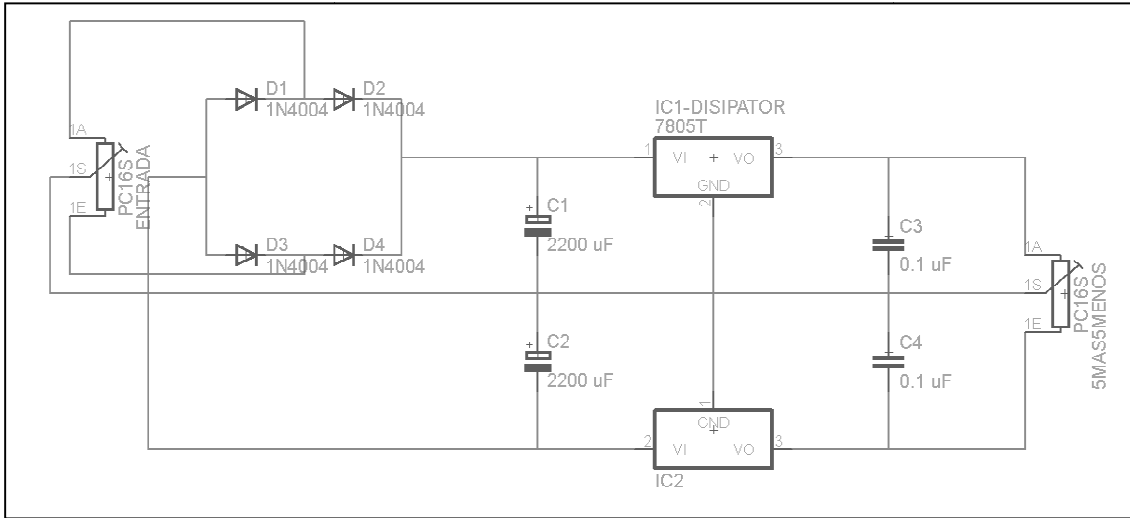


Figura 4.3 Esquemático para fuente de alimentación de ICL7107

Como se muestra en la Figura 4.3 se inicia de un modelo esquemático, partiendo del prototipo realizado físicamente, una vez comprobado su buen funcionamiento se procede a su realización en circuito impreso tal y como se muestra en la Figura 4.4 en donde se acomodan de la forma más eficiente y con mejor estructura los componentes.

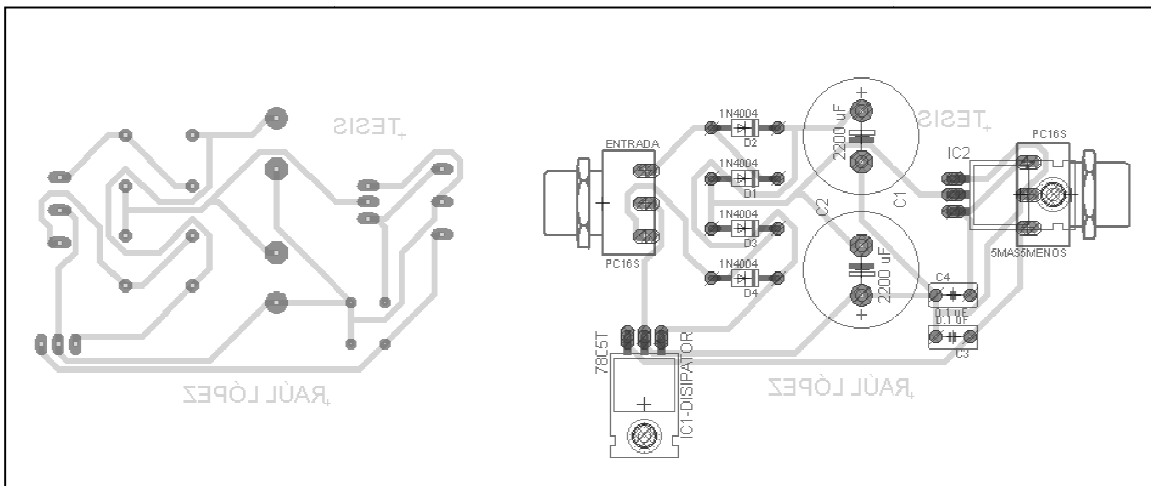


Figura 4.4 Circuito impreso para alimentación del integrado ICL7107

FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA SENSORES

La fuente de alimentación para los sensores se decidió que fuera una fuente independiente, pues al alimentar a los circuitos ICL7107 y a los sensores ocurrían problemas de identificación de tierras. Como fue en el caso para el sensor de presión MPX2010DP el cual se aprovecha de un puente de wheatstone para medir la diferencia de presión que se ve reflejada en una diferencia de voltaje. Pero este voltaje al ser producido por una misma fuente que alimenta a la entrada del integrado ICL7107 “ve” un voltaje diferente en la medición, pues toma una medición de un voltaje con una referencia a tierra, mas no la diferencia de voltajes que existen en el puente de wheatstone.

Como se muestra en la Figura 4.5 se emplea una entrada procedente de un transformador y su rectificación de onda para obtener corriente de directa, también se usaron reguladores de voltaje dos I7805 y uno I7812. Cada uno con la capacidad de proporcionar 1 [A] de corriente, la decisión para emplear 2 integrados I7805 fue con la finalidad de no saturar los bornes de conexión, pues 3 sensores emplean una polarización de 5 volts. En la Figura 4.6 se muestra su finalización circuito impreso con y sin componentes.

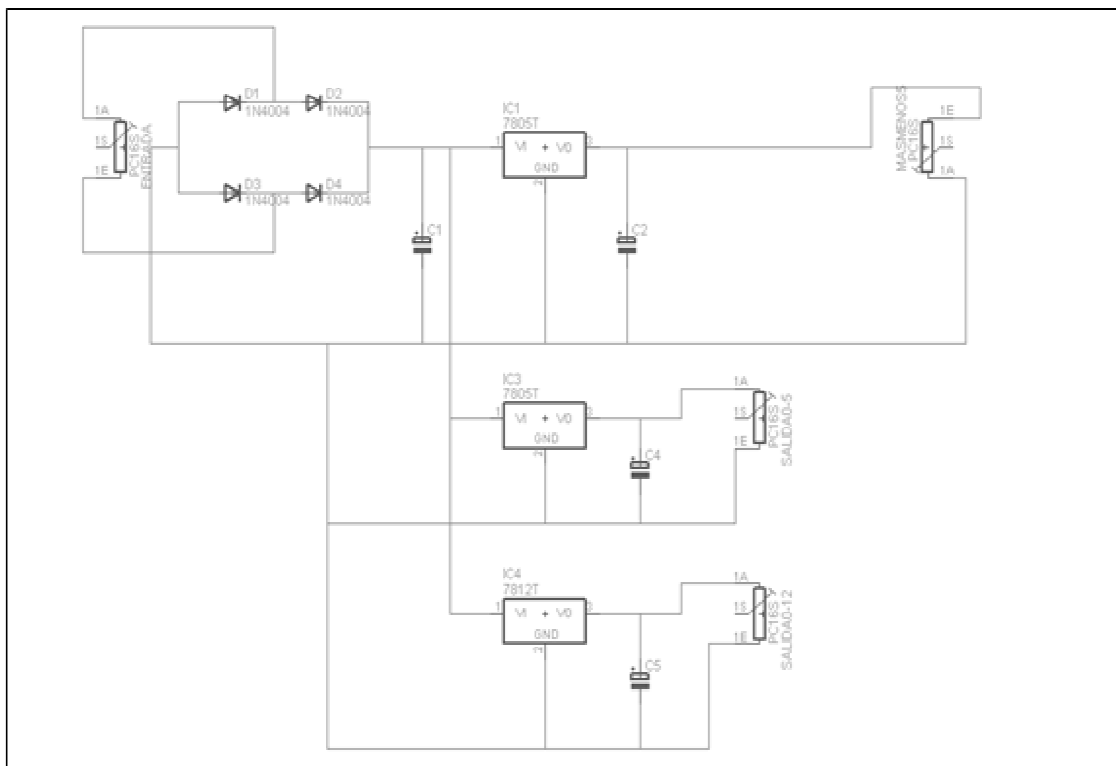


Figura 4.5 Esquemático para fuente de alimentación de sensores

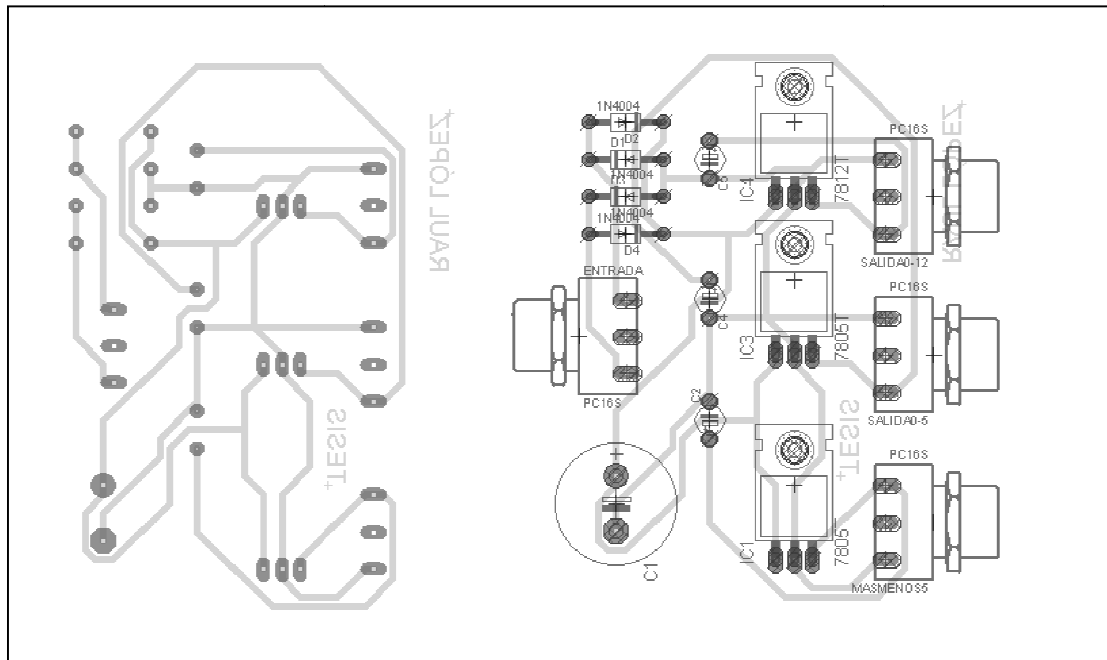


Figura 4.6 Diagrama de circuito impreso para fuente de alimentación de sensores

ICL7107

Para la realización del esquemático del integrado ICL7107 se parte de un prototipo hecho previamente en una tarjeta de pruebas para comprobar su buen funcionamiento. Una vez realizado esto se procede a la realización de su esquemático (software EAGLE 5.4.0) agregando bornes de conexión para su fácil conexión con la fuente de alimentación, al mismo tiempo en el software se identifica cada componente y cada conexión tal y como se muestra en la Figura 4.7.

Después de esto, se finaliza con el diseño de su circuito impreso como se muestra en la Figura 4.8 indicando la ubicación de cada componente para reducir su espacio e ir dimensionando el circuito de acuerdo a su colocación dentro del gabinete de control.

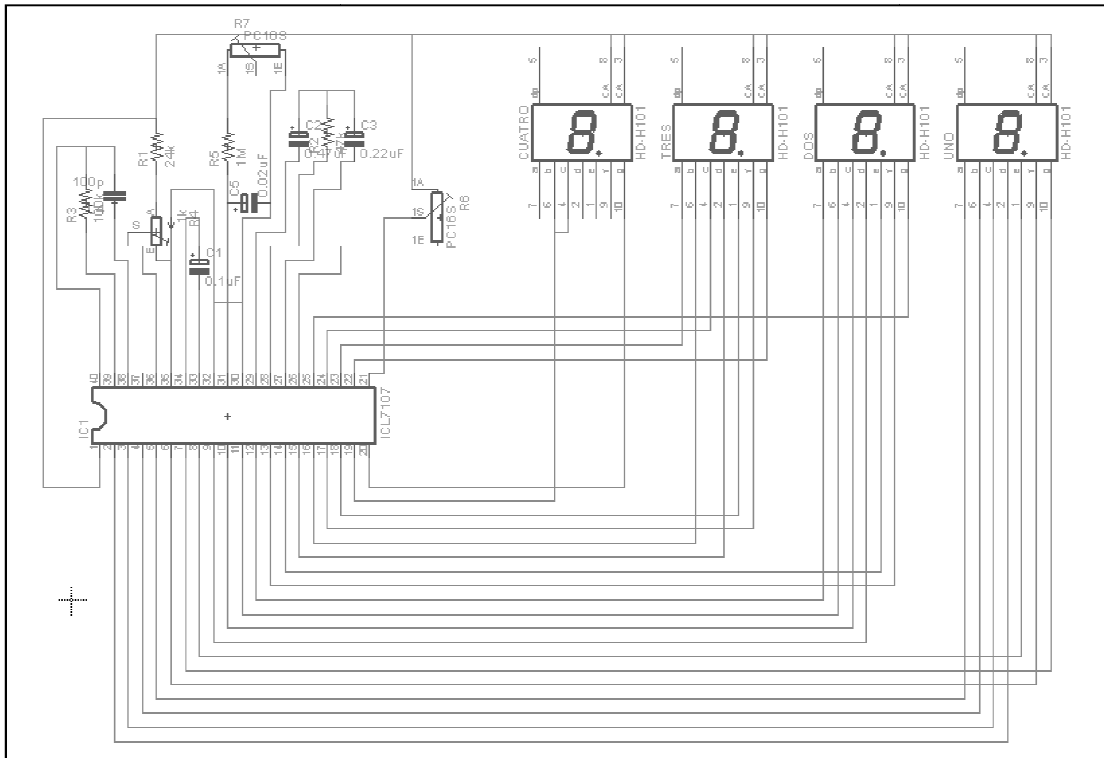


Figura 4.7 Esquemático ICL7107

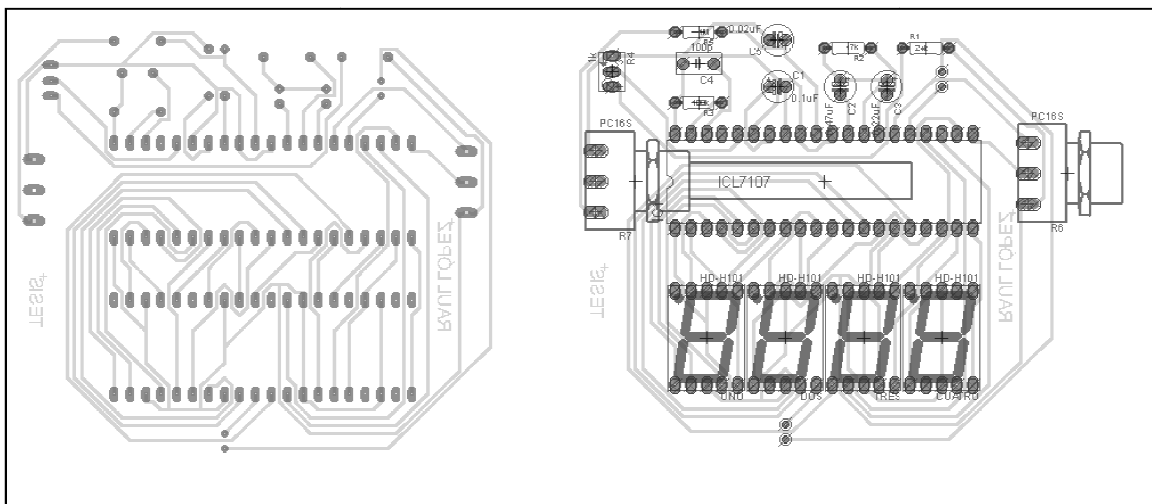


Figura 4.8 Diagrama de circuito impreso para ICL7107

SENSADO ELECTRÓNICO DE PH

Como se muestra en la Figura 4.9 y como se explicó en el punto 4.1.1 se tiene un acondicionamiento de señal para el electrodo de pH, con la finalidad de obtener una buena precisión y eliminar señales indeseadas. Aprovechándose de un amplificador de instrumentación AD620 para minimizar conexiones eléctricas y aumentar eficiencia del dispositivo. Al mismo tiempo en el electrodo de pH se usa un conector BNC hembra para poder separar las dos señales provenientes de la medición del electrodo dentro de la solución a sensar.

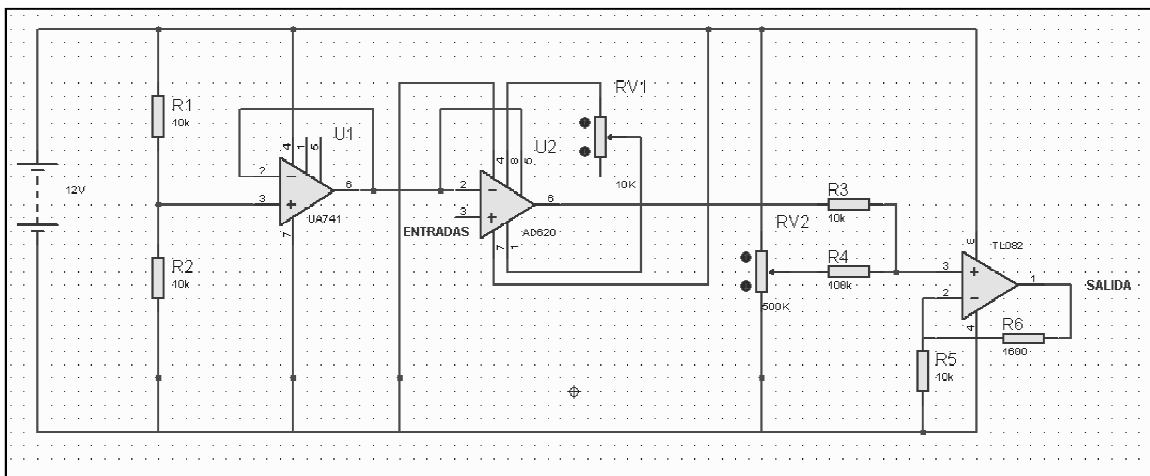


Figura 4.9 Diagrama de alimentación y acondicionamiento de señal para electrodo de pH

SENSADO ELECTRÓNICO DE METANO

En la Figura 4.10 se muestra como son las conexiones eléctricas para el sensor de metano, en este caso se puede usar una misma fuente para alimentación de V_c y de V_H . El voltaje de sensado V_{RL} es obtenido en el orden de mili volts dependiendo de la cantidad de metano a la cual es sometido el sensor.

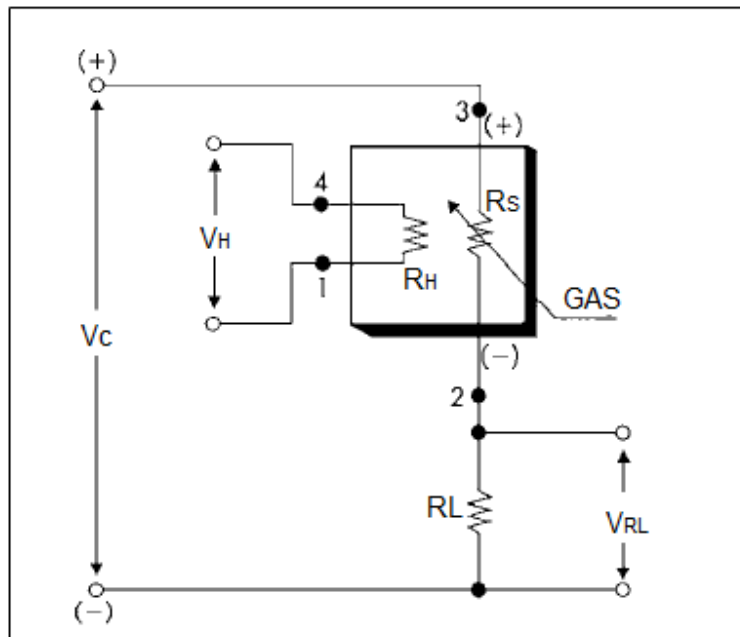


Figura 4.10 Diagrama de conexión para sensor de metano TGS2611

SENSADO ELECTRÓNICO DE DIÓXIDO DE CARBONO

Figaro Gas Sensor cuenta con amplia gama de dispositivos electrónicos para el sensado de gases, en este caso su cambiante tecnología con tendencia a la actualización nos deja ver el sensor K22-LO con lo último en sensado de dióxido de carbono a un bajo precio, bajo costo y libre de mantenimiento. En la Figura 4.11 se puede apreciar el sensor y su acondicionamiento de señal, donde su diagrama electrónico interno del sensor no se puede adquirir fácilmente, pues se habla de una tecnología patentada por los laboratorios de desarrollo e investigación de Figaro Gas Sensor.

Sin embargo este sensor cuenta con una estructura muy amigable, pues entrega directamente una salida lineal y proporcional a la cantidad de dióxido de carbono a la cual es sometida el sensor, esta salida maneja el intervalo de 0 a 5 [V]. Por esta razón para el acondicionamiento de señal únicamente se uso un divisor de tensión para decir que en nuestro sistema el sensor K22-LO entrega una salida proporcional a la cantidad de dióxido de carbono a la cual es sometida el sensor y esta salida esta comprendida en el intervalo de 0 a 200 [mV], donde cada mili volt corresponde a 10 ppm y en nuestro sistema 200 [mV] son desplegados como 2,000 ppm lo cual hace referencia a la escala máxima de medición del sensor.

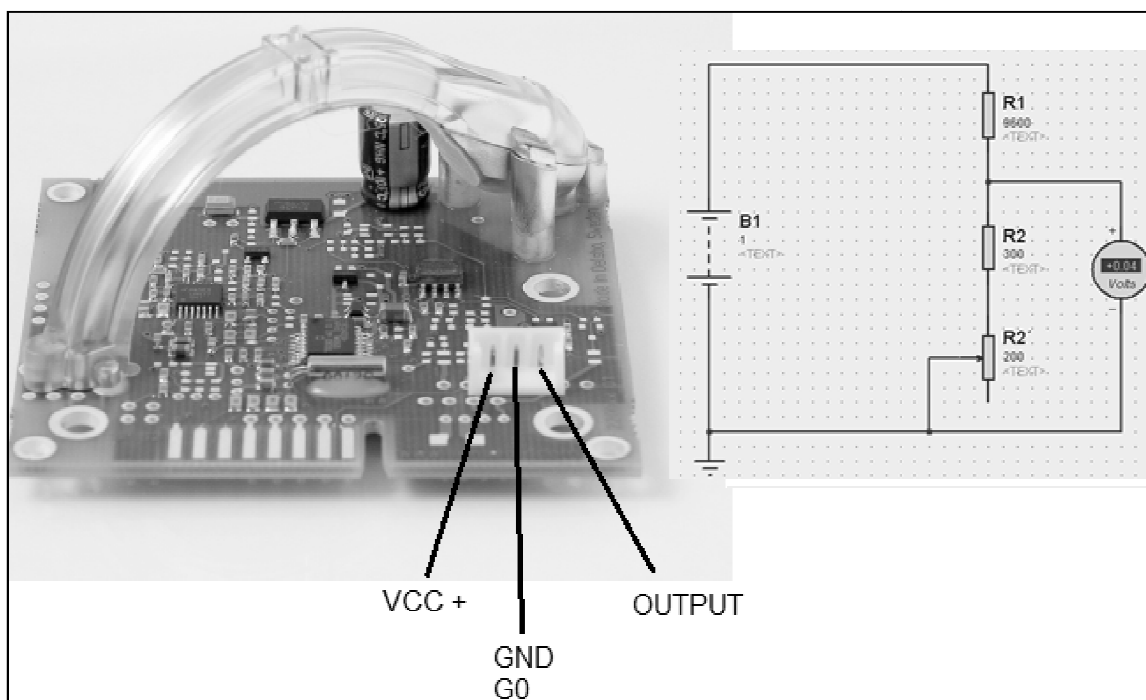


Figura 4.11 Módulo K22-LO y su diagrama de acondicionamiento de señal

SENSADO ELECTRÓNICO DE TEMPERATURA

En la Figura 4.12 se muestra el diagrama y el acondicionamiento de señal para el sensor de temperatura LM35. Este sensor entrega 10 [mV] por cada grado centígrado, por esta razón para el acondicionamiento de señal se usó únicamente un divisor de tensión, para que en este caso, cada mili volt signifique un grado centígrado de temperatura. De esta forma se logra desplegar a través del ICL7107 una escala en grados centígrados directamente proporcional a la temperatura a la cual es sometida el sensor. El sensor estará en el interior del reactor anaerobio con la finalidad de sensar la temperatura promedio a la cual se encuentra el proceso.

MEDIDOR DE NIVEL ELECTRÓNICO

Se muestra en la Figura 4.14 el sistema encargado de hacer la detección de nivel conforme a la carga orgánica que está en el interior del reactor anaerobio. Aprovechándose de la conductividad del agua. El sistema es alimentado por un transformador que entrega 20.6 [Vpp] siendo que cada detección es indicada por 3 leds que consumen 35 [mA]. Se calculo la resistencia necesaria para brindar la corriente y el voltaje necesario (12 VDC) para un buen funcionamiento de los leds.

Se puede observar que la carga orgánica se encarga de cerrar el circuito a través de la conductividad del agua que contiene. En su instalación física se contemplan dos conductores en el interior del reactor a diferentes alturas. Estas hacen referencia a los puntos de interés, para fijar un intervalo seguro de operación dentro del reactor anaerobio.

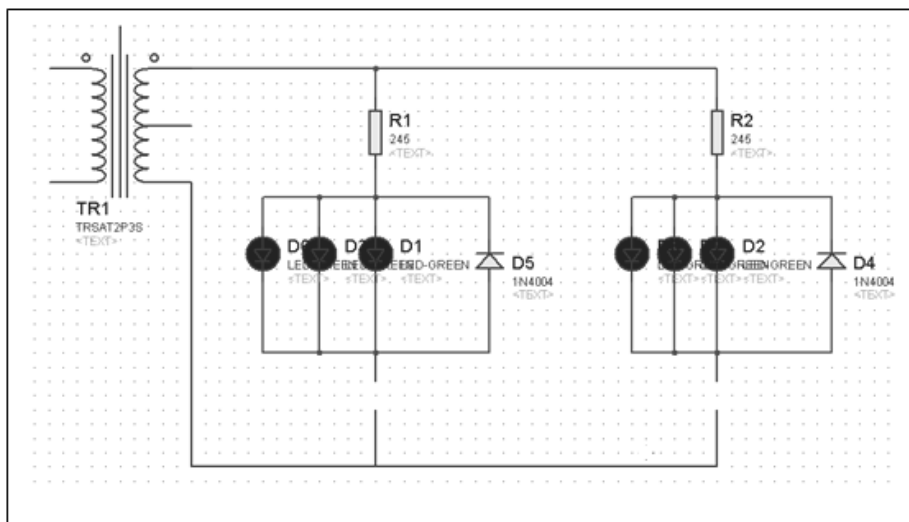


Figura 4.14 Diagrama de circuito para detección de nivel

4.3 DIAGRAMA GLOBAL ELECTRÓNICO DEL SISTEMA

Toda la eléctrica y electrónica antes planteada necesita protección del polvo, golpes, agua, etc. Con la finalidad de aumentar su tiempo de vida y evitar problemas de funcionamiento. Por esta razón se decidió introducir todo este diseño en un gabinete de control, el cual cuenta con protección al polvo, aceite, agua, humedad y con una conexión a tierra física para evitar que posibles descargas puedan dañar el sistema, al mismo tiempo, se protege el equipo con un fusible antes de la alimentación a los transformadores.

En la Figura 4.15 se muestra en diagrama general del sistema, donde cada bloque pasa a formar parte por su diagrama correspondiente. El sistema cuenta con alimentación de 120 VAC con un interruptor de encendido seguido de un fusible para protección. Enseguida alimenta a los transformadores que pasan a alimentar simultáneamente a toda la electrónica del sistema.

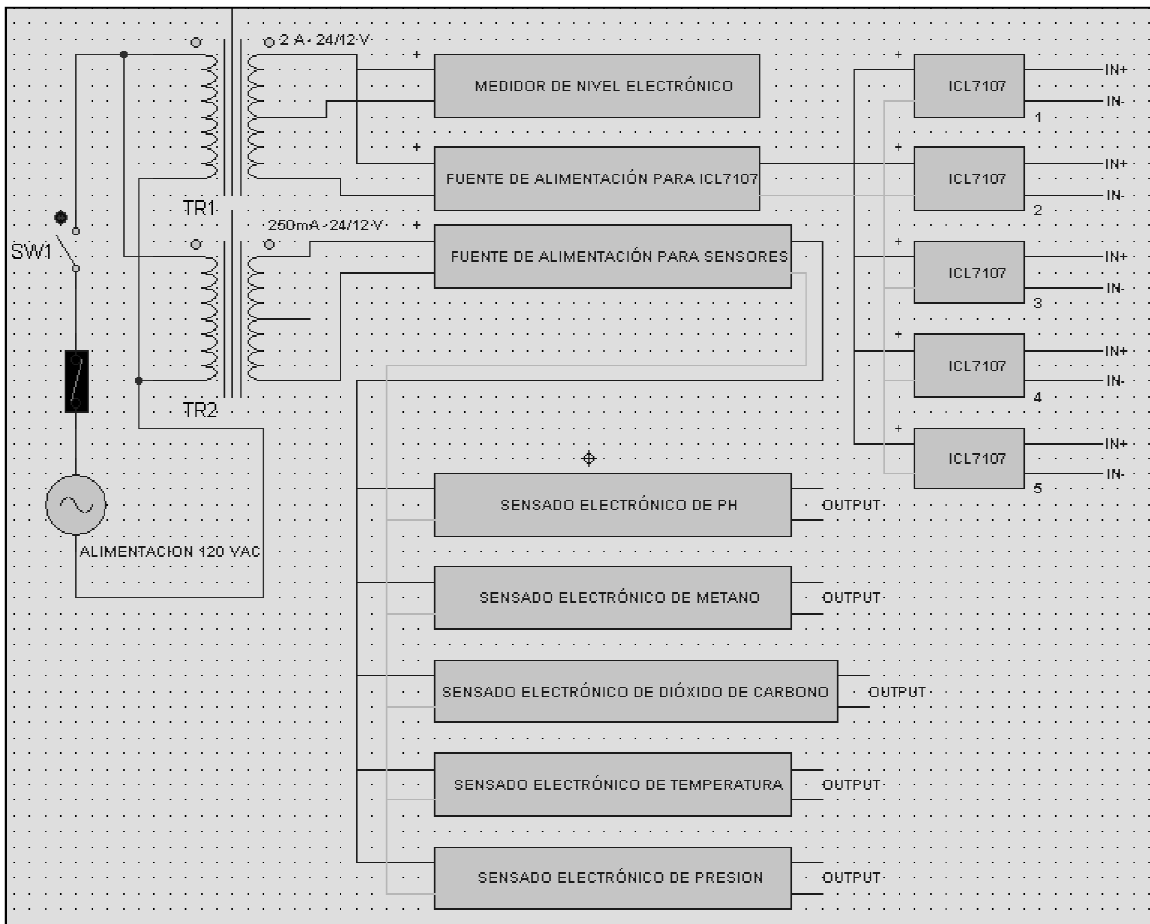


Figura 4.15 Diagrama global de sensado electrónico

En la Figura 4.16 se muestra la culminación de esta tesis con todo el diseño electrónico introducido en su gabinete de control. Mientras que en la Figura 4.17 se muestra el interior de este gabinete donde se pueden apreciar los circuitos impresos de los diferentes dispositivos con que cuenta este sistema. Al mismo tiempo se aprecia que se usó cable calibre 16 junto con terminales de conexión para su fácil armado (o mantenimiento en un futuro), pues es una norma de conexión que se usa en los gabinetes de control.



Figura 4.16 Armado final de sensado electrónico en gabinete de control



Figura 4.17 Interior del gabinete de control

Finalmente se muestra el sistema con una medición de 0[V] como se aprecia en la Figura 4.18 de esta forma se observa que el sistema no tiene alguna variación, es decir, algún offset que pueda afectar la medición, pues en resumen cada despliegue es un voltímetro que indica los mili volts que son suministrados al circuito integrado ICL7107, en un intervalo comprendido entre -200 a 200 [mV]. Y estos mili volts son suministrados por cada sensor y su correspondiente acondicionamiento de señal.



Figura 4.18 Electrónica funcionando con medición de 0 [V]

4.4 COSTOS DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS EN EL SISTEMA

Los costos de elaboración para cada indicador contempla múltiples dispositivos. Estos dispositivos son idénticos para cada medidor, independientemente de la variable a sensar. Como se muestra en la Tabla 4.1 se hace una tabla del dispositivo y su costo correspondiente para conformar el indicador, de esta forma se finaliza con un indicador listo para desplegar mediciones en el intervalo comprendido de -200 a 200 [mV].

En la Tabla 4.2 se hace un enfoque a los sensores que se necesitaron, agregando su acondicionamiento de señal en caso que se haya necesitado. Debido a que el indicador presenta a su entrada un intervalo de operación comprendido de -200 a 200 [mV] para desplegar, se debe de hacer un acoplamiento de señal para que el sensor entregue un voltaje dentro de este intervalo.

De esta forma se pueda observar en 4 display de 7 segmentos una medición correspondiente de cada variable a sensar, la cual corresponde a los mili volts entregados por cada sensor y que son ajustados (acoplamiento de señal) para que 2.5 [mv] correspondan a una unidad de presión (kPa) en el caso del sensor MPX2010DP por ejemplo.

Tabla 4.1 Costos para elaboración de indicador

	Indicador	
Dispositivo	Costo pza.	Total
ICL7107	\$42.00	\$42.00
4 Resistencias	\$0.50	\$2.00
5 Capacitores	\$0.50	\$2.00
4 Display 7 seg.	\$10.00	\$40.00
Potenciómetro	\$12.00	\$12.00
Insumos (placa de cobre, cloruro férrico, etc.)	\$25.00	\$25.00
Total		\$123.00

Tabla 4.2 Costos de sensores y alimentación del sistema

Variable	Costo sensor	Acondicionamiento de señal	Total
Presión	\$185.00		\$185
Temperatura	\$25.00	\$3.00	\$28
Dióxido de carbono	\$1,560.00		\$1,560
Metano	\$370.00	\$12.00	\$382
pH	\$550.00	\$140.00	\$690
		Total	\$2,845
Fuente indicadores		\$190.00	
Fuente sensores		\$130.00	
Detector de nivel		\$33.00	
	Total	\$353.00	

4.5 COMPARACIONES CON OTROS SISTEMAS DE MISMA APLICACIÓN

El sistema realizado es un prototipo hecho a la medida partiendo de un análisis y diseño que tienen un fin común, reducir costos y hacer un equipo altamente competitivo a nivel industrial. Teniendo la satisfacción de que se logra producir un equipo no disponible en el mercado, pues hay empresas que se encargan de realizar sistemas de este tipo pero con la gran diferencia que en su costo de elaboración se incluyen sistemas ya hechos de fabricación extranjera, quedando únicamente el ensamblado y conexión por parte del técnico, dejando de lado el análisis y diseño real con que cuenta la electrónica.

Tal es el caso del control de temperatura marca Honeywell donde su precio oscila alrededor de los 1600 pesos y donde muchas veces sus características quedan sobradas para la verdadera aplicación a la cual se le enfoca. Como se muestra en la Tabla 4.3 se hace una comparación de sistemas en el mercado con el sistema realizado en esta tesis enfocándose únicamente a la variable a sensar.

Tabla 4.3 Comparación de costos en el mercado

	Costo de sistema realizado	Costo de sistemas en el mercado
Presión	\$308	Marca EXA-CT \$1,120.00
Temperatura	\$151	Marca Honeywell \$1,750.00
Dióxido de carbono	\$1,683	Marca Figaro gas sensor \$2,300.00
Metano	\$505	Marca Bluesens \$1,780.00
pH	\$813	Marca HM Digital \$1,580.00
Total	\$3,460	\$8,530

Cabe mencionar que los costos de comparación son con sistemas económicos y con las mismas características o inferiores a los elaborados en esta tesis. Aunado a esto existen múltiples marcas y proveedores de sistemas de sensado, que muchas veces agregan funciones adicionales a sus sistemas, aumentando así el costo de su producto con finalidad puramente de mercadotecnia.

4.6 APORTACIONES DEL TRABAJO

Realizado en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) un sistema de sensado electrónico no disponible en el mercado con características hechas a la medida para sensar variables de interés en un reactor anaerobio. Se habla de una aplicación de tantas que tiene la electrónica, cumpliendo con la finalidad de hacer

importantes aportaciones en la rama para el cual fue diseñado y cumpliendo al 100% sus expectativas, dejando pendientes futuras aplicaciones para las cuales puede aprovecharse su funcionamiento, así como, futuras tesis de desarrollo para obtener mayor provecho en este sistema de sensado electrónico.

Las aportaciones se pueden catalogar en económicas, enfocándose a que en este sistema no se necesitan de manos especializadas para su mantenimiento, así como la reducción de costos por fabricación pues se habla de un sistema de sensado electrónico diseñado a la medida para variables de interés en un reactor anaerobio. Dejando de lado los altos costos de envío, fabricación y tiempo de entrega con que cuentan las empresas extranjeras. El sistema final es de uso continuo con la finalidad de facilitar las mediciones hechas por los supervisores en un reactor anaerobio, de esta forma se reduce el tiempo con que estas mediciones contaban, pues en un mismo tablero de control se despliegan todas las variables de interés aportando mayor comodidad en un sistema digital.

En este sistema se aumenta su tiempo de vida al incluir normas de protección para la electrónica involucrada en el sistema. Logrando así un sistema para aplicaciones industriales y con precisión igual o mejor. Tal es el caso del sensor de temperatura en el cual se pueden ajustar sus décimas de grado centígrado, lo cual en sistemas comerciales como la marca Honeywell no se puede hacer, pues consta de una conexión únicamente para el termopar pero no tiene un ajuste fino, es decir, con ese sistema si el termopar llegara a tener algún defecto de fabricación y su medición estuviera alejada de la realidad 2 °C, esta temperatura no se podría corregir, en cambio, con el sistema realizado se cuenta con un ajuste fino donde este problema se corrige únicamente con un potenciómetro.

El trabajo busca aportar también conciencia e impulsar el desarrollo tecnológico en México, dejando claro que se pueden hacer sistemas altamente competitivos y que desafortunadamente se opta por sistemas extremadamente costosos y de fabricación extranjera. Donde muchas veces estos sistemas no cubren la totalidad de los requerimientos del usuario o en caso contrario el sistema queda sobrado pues su aplicación final no demanda todo su potencial. Hablando así de un mal diseño y análisis de fabricación.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

Esta tesis se divide en dos partes importantes, una parte es enfocada a la experimentación e investigación y otra parte es enfocada al armado físico del sistema para su futura colocación y supervisión.

De esta forma respecto a la etapa de experimentación e investigación se concluye que un sensado electrónico a través de la electrónica es capaz sin importar la variable de importancia (presión, temperatura, metano, etc.) hacer una medición fiable y competitiva con cualquier sistema de importación de uso comercial o industrial. Siempre existirán múltiples sensores con diferentes características para su realización y despliegue digital. Quedando por parte del diseñador la elección del mejor dispositivo que se acople a sus características pues la eléctrica y electrónica no tiene fronteras y está en constante actualización. Una justificación es el mundo que nos rodea, pues evoluciona con una tendencia hacia lo digital.

En la segunda etapa, referente al armado físico (que parte de una experimentación e investigación) nos deja claro que un diseño hecho a la medida en este caso para un sistema de sensado electrónico es sumamente económico, aprovechándose de la electrónica y prototipos para lograrlo. Se llega a la conclusión de que se elaboró un sistema con un precio aproximado en el mercado de 45 mil pesos, siendo que su realización costo 11 veces menos. Cumpliendo con todas las normas reglamentarias para trabajar en ambiente industrial o de instrumentación médica. Sin dejar de lado que la precisión del sistema que se fabricó es sumamente competitivo.

Con lo anterior se puede afirmar que aunque no existen en México fabricantes de módulos para medición de pH (por ejemplo), se pueden realizar teniendo los conocimientos adecuados y alcanzando un muy bajo costo en su fabricación, pues en muchas ocasiones este precio se ve incrementado por gastos de envío, existencias, modelos etc. de empresas extranjeras.

En general se puede concluir que la fabricación, diseño y puesta en marcha de un sensado electrónico hecho a la medida es viable con alto margen de ahorro en inversión contemplando al mismo tiempo un sistema que requiere mantenimientos mínimos y que este mantenimiento no requiere de manos especializadas. Al mismo tiempo el sistema es de fácil uso e interpretación para cualquier usuario.

REFERENCIAS BIBIOLGRÁFICAS

Appels, a., Baeyens, J. y Dewil, R. 2008. Principles and potencial of de anaerobic digestion of waste-activated sludge. En: Progress in Energy and combustion Science. Birmingham, Inglaterra.

Barajas-Marroquín, J. M. 2009. La importancia de los transductores en los sistemas de seguridad. Tesis de licenciatura de ingeniería mecánico electricista. Facultad de Estudios Superiores Universidad Nacional Aragón. San Juan de Aragón, Edo. de México., México.

Bendixen, H.J. 1994. Safeguards against pathogens in Danish biogas plants. **Water Science and Technology** 30(12): 171–180.

Boe, K., Batstone, J., Steyer, P. y Angelidaki, I. 2010. State indicators for monitoring the anaerobic digestion Process. **Water Research**. 44(20):5973-5980.

Bouallagui, H., Touhami, Y., Cheikh, R. y Hamdi, M., 2005. Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. **Process Biochemistry**. 40(3-4): 989–995.

Casans, S., Navarro, A. y Ramirez, D. 2003. Circuit forms novel floating current source, Publicación de la Universidad de Valencia. Burjassot, España

Castro-González, A. 2010. Apuntes de la materia de “Planeación e Instalación de Sistemas de Bioenergía”. Licenciatura en Ingeniería Eléctrica Electrónica. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, D.F., México.

Ciganda, M., 2004. Electrodo para medir pH (Junio 2004). **XIII Seminario de Ing. Biomédica 2004 - Facultades de Medicina e Ingeniería – Univ. de la República Oriental del Uruguay**.

De Baere, L. 2000. Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art. **Water Science and Technology**. 41(3): 283–290.

Feitkenhauer, H. y Meyer, U. 2004. Software sensors based on titrimetric techniques for the monitoring and control of aerobic and anaerobic bioreactors. **Biochemical Engineering Journal**. 17(2):147–151.

FIGARO, 2005. Product Information TGS 2611- for the detection of Methane. **FIGARO ENGINEERING INC. JAPAN**.

FIGARO, 2010. Product Information K22 Carbon Dioxide Sensor Module. **FIGARO USA, INC.** Arlington Heights.

Hawkes, F.R., Guwy, A.J., Rozzi, A.G. y Hawkes, D.L., 1993. New instrument for on-line measurement of bicarbonate alkalinity. **Water Research**. 27(1):167-170.

Huerta-Gallegos, N. 2010. Degradación Anaerobia de Residuos de Restaurantes de Ciudad Universitaria. Tesis de Licenciatura de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, D.F., México.

IPCC, 2007. The physical science basis. Resumen técnico del Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO-UNEO. Cambridge University Press. Reino Unido.

Juárez-Hernández, S. 2011, Avances de tesis de Maestría en Energía. Posgrado de ingeniería. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, D.F., México.

Kaiser, E. 1966. Chemical Analyses of Refuse Compounds. In Proceedings of National Incinerator Conference. ASME, Nueva York, EEUA.

Khandelwal, K. C. y Mahdi, S. S. 1993. Biogás Technology a Practical Handbook Volume I. Ed. McGraw-Hill. New Delhi, India.

Kunte, D.P., Yeole, T.Y. y Ranade, D.R. 2004. Two-stage anaerobic digestion process for complete inactivation of enteric bacterial pathogens in human night soil. **Water Science and Technology**. 50(6):103–108.

Liu, J., Olsson, G. y Mattiasson, B. 2004. On-line monitoring of a two-stage anaerobic digestion process using a BOD analyzer. **Journal of Biotechnology**. 109(3): 263–275.

Lokey, E. 2009. The status and future of methane destruction projects in México. **Renewable Energy**. 34(3):566–569.

Lund, B., Jensen, V.F., Have, P. Ahring, B. 1996. Inactivation of virus during anaerobic digestion of manure in laboratory scale biogas reactors. Antonie Van Leeuwenhoek. **International Journal of General and Molecular Microbiology**. 69(1): 25–31.

Mata-Álvarez, J., 2002. Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid

Wastes. Pág. 1-56. IWA Publishing. ALLIANCE House, 12 Caxton Street, London, UK.

Mayné, J. 2003. Sensores Acondicionadores y Procesadores de señal. **SilicaAnAvnetDivision**.

Méndez-Acosta, H.O., Palacios-Ruiz, B., Alcaraz-González, V., González-Álvarez, V. y García-Sandoval, J.P. 2010. A robust control scheme to improve the stability of anaerobic digestion processes. **Journal of Process Control**. 20(4):375–383.

Moletta, R., Escoffier, Y., Ehlinger, F., Coudert, J.P. y Leyris, J.P., 1994. On-line automatic control system for monitoring an anaerobic fluidized-bed reactor: response to organic overload. **Water Science and Technology**. 30(12): 11-20.

MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA. 2002. 10 kPa on-chip Temperature Compensated & Calibrated Silicon Pressure Sensors. **Freescale Semiconductor, Inc.** Denver Colorado. EE.UU.

NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000. LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors. **National Semiconductor Corporation**.

Neissen, W. 1977. Properties of Waste Materials, en D. G. Wilson (ed.): Handbook of Solid Waste Management, Van Nostrand Reinhold. Nueva York, EE.UU.

Norton H. 1987. Handbook of transducers, Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, EE.UU.

Pain, B.F. y Hephherd, R.Q. 1985. Anaerobic digestion of livestock wastes. In: Pain, B.F., Hephherd, R.Q. (Eds.), Anaerobic Digestion of Farm Waste. NIRD. Technical Bulletins, Reading, pp. 9–14, UK, Inglaterra.

Pallás, R. 1989. Transductores y Acondicionadores de Señal. Marcombo, Boixareu Editores, Barcelona, España.

Sahlstrom, L., 2003. A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants. **Bioresourcetechnology**. 87(2):161–166.

SEMARNAT, 2010. Mecanismo de Desarrollo Limpio. Publicación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

SEMARNAT, 2006. Cambio climático. Publicación de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F., México.

Stanley, W. y Richard, F. 1992. Students Reference Manual for Electronic Instrumentation Laboratories. Traducido de la primera edición en inglés. Editorial Prentice-Hall. Impreso en México.

Smet, E., Van Langenhove, H. y De Bo, I. 1999. The emission of volatile compounds during the aerobic and the combined anaerobic/aerobic composting of biowaste. **Atmospheric Environment**. 33(8):1295–1303.

Tafdrup, S. 1995. Viable energy production and waste recycling from anaerobic digestion of manure and other biomass materials. **Biomass & Bioenergy** 9(1):303–314.

Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil S. 1994. Gestión integral de Residuos Sólidos, volumen I. Primera edición. Editorial Mc Graw Hill/ Interamericana de España, S.A. Traducción al español. Madrid, España.

Usher, M. y Keating, D. 1996. Sensors and Transducers Characteristics, Applications, Instrumentation, Interfacing. Ed. McMillan. Second Edition. Gran Bretaña.

Valdés-Bustamante, G. 2010. Factibilidad de la conversión de una planta de tratamiento de aguas residuales a generadores de energía eléctrica. Tesis de licenciatura de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, D.F., México.

Ward, J. A., Hobbs, P. J., Holliman, P. J. y Jones, D. J. 2008. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. **Bioresourcetechnology**. 99(17): 7928–7940.

Witkowska, E., Buczkowska, A., Zamojska, A., Szewczyk, W. K. y Ciosek, P. 2010. Monitoring of periodic anaerobic digestion with flow-through array of miniaturized ion-selective electrodes. **Bioelectrochemistry**. 80(1):87–93.