



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

**Análisis y selección de tecnologías para la
implementación de un sistema remoto de
monitoreo de una planta de biogás instalada en
Ciudad Universitaria - Parte 2**

Tesis

Que para obtener el título de
Ingeniero Eléctrico y Electrónico

Presentan:

Adrián Álvarez González

Aldo Iván Vargas Mejía



Directora de tesis:

Dra. Alejandra Castro González

Ciudad Universitaria, México D.F.

2013

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE:	Ing. Jacinto Viqueira Landa
VOCAL:	Dra. Alejandra Castro González
SECRETARIO:	Ing. David Vázquez Ortiz
1er. SUPLENTE:	Dr. Arturo Guillermo Reinking Cejudo
2do. SUPLENTE:	Ing. Alberto Ramiro Garibay Martínez

SITIO EN DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

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

Se agradece el apoyo otorgado del proyecto PAPIIME 100810: "Prototipos de bioenergía".

ASESORA DEL TEMA:

Dra. Alejandra Castro González

SUSTENTANTES:

Adrián Álvarez González

Aldo Iván Vargas Mejía

AGRADECIMIENTOS

Aldo Iván Vargas Mejía:

Sin duda este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda de muchas personas que han estado y estarán conmigo en las buenas y en las malas sin importar lo que pase, personas que admiro, estimo y quiero.

Agradezco principal y especialmente a mis padres de quienes aprendo día con día y quienes son mi ejemplo a seguir. Mi mamá, de quien estoy orgulloso, principal responsable de mi formación profesional, quien supo darlo todo sin esperar nada a cambio. Gracias por todos los consejos, palabras, abrazos, regaños, desveladas, esfuerzos y sobre todo por tu amor incondicional hacia mí y mis hermanos, sin duda eres el pilar de la familia, eres una gran mujer, no me alcanzarán los años que me restan de vida para agradecerte.

A mi papá, de quien admiro tanto esfuerzo desde que tengo memoria en las jornadas laborales, quien lo ha dado todo y más de lo que ha estado a su alcance por nosotros, su familia. Todo ese trabajo lo convertiste en darme la valiosa oportunidad de terminar mis estudios superiores y te agradezco infinitamente todo tu sacrificio.

Gracias a mis hermanos César e Isaac. Gracias César por acompañarme en los momentos felices y los tragos amargos, sin duda necesitaba un cómplice en el pasar de los años y ese has sido tú, gracias por escucharme cuando lo necesito y tenerte como refuerzo incondicional.

Gracias Isaac por haberme ayudado más de lo que te puedas imaginar, no hubiera imaginado que tu ayuda desencadenaría mi gusto por la ingeniería, gracias por tu constante preocupación no sólo en los estudios sino en el bienestar de César y mío.

A mis abuelos, tíos y tías, primos y primas por ser pieza fundamental en mi vida y en quienes he encontrado el respaldo de una gran familia.

A Adrián, un verdadero amigo, cimiento principal de este trabajo de tesis, con quien he encontrado un entendimiento sin igual y he tenido la fortuna de desarrollar el presente trabajo, el cual es la culminación de una vida de estudio, no pudo haber persona mejor para esta tarea más que tú. No sólo agradezco lo que ha conllevado este trabajo sino todas las palabras que hemos intercambiado y de las cuales he aprendido y comprendido varios temas. Gracias por todo amigo.

Gracias Dra. Alejandra Castro González por habernos dado la oportunidad de confiarnos esta investigación, por su comprensión y tiempo que nos ha dedicado, gracias por habernos ayudado en el último escalón de nuestra licenciatura.

A la gran Universidad Nacional Autónoma de México, a la Escuela Nacional Preparatoria No 9, a la Facultad de Ingeniería. A todas estas instituciones por las múltiples enseñanzas y herramientas que me han dado y con las cuales me han convertido en el hombre que ahora soy.

A todos mis maestros y amigos que han estado a mi lado a lo largo de los años y han sido testigos de mi crecimiento, gracias amigas y amigos por todas las risas y momentos juntos, espero estén conmigo por mucho tiempo, ustedes bien saben quiénes son.

*“Bueno pues antes de acabar, me van a dejar que les cuente la última ¿vale?
A modo de despedida.”*

Adrián Álvarez González:

Agradezco a mis padres, a mi hermano, a mi familia, amigos, compañeros, profesores y personal académico, interesados en mi desarrollo personal y profesional.

Dedico de manera especial este trabajo a la memoria de Diego Andrés Corredor Quiñones y de Odette Velázquez Corona. Imagino la singular alegría que esto les produce.

ÍNDICE

Índice de contenidos.....	I
Índice de figuras.....	IV
Índice de tablas	V
Glosario.....	VII

RESUMEN	IX
INTRODUCCIÓN	X
HIPÓTESIS	XI
OBJETIVO	XI

Página

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.....	1
1.1 BIOCOMBUSTIBLES.....	1
1.1.1 Biocombustibles sólidos	1
1.1.2 Biocombustibles líquidos.....	3
1.1.3 Biocombustibles gaseosos	5
1.2 GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE REACTORES ANAEROBIOS	7
1.2.1 Tipos de reactores anaerobios para tratamientos de residuos sólidos.....	7
1.2.2 Ejemplos de plantas de biogás.....	10
1.2.3 Instalación típica de una planta de biogás	13
1.2.4 Seguridad en una planta de biogás.....	14
1.3 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	18
1.3.1 Producción de residuos.....	20
1.3.2 Tratamiento de los residuos	21
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS	29
2.1 SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN	29
2.1.1 Sistemas de monitorización remota	30
2.1.2 Sistemas de monitorización y control en tiempo real	32

2.2 TECNOLOGÍAS.....	33
2.2.1 Hardware.....	34
2.2.2 Software.....	37
CAPÍTULO 3. SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN PARA PLANTAS DE BIOGÁS	40
3.1 PARÁMETROS DE MONITORIZACIÓN Y CONTROL EN UNA PLANTA DE BIOGÁS	40
3.1.1 Parámetros físicos de monitorización y control en una planta de biogás	42
3.1.2 Parámetros químicos de monitorización y control en una planta de biogás	45
3.2 SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN EN PLANTAS DE BIOGÁS.....	47
3.2.1 Sistema de monitorización en la PTAR de la Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma	47
3.2.2 Sistema de monitorización en BENLESA.....	50
3.3 MERCADO DE SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN PARA PLANTAS DE BIOGÁS	53
3.3.1 LANDTEC.....	53
3.3.2 Sistema de monitorización BENTEC bioenergíes	54
3.3.3 ABB	54
3.4 CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN CON TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES.....	55
3.4.1 ADInstruments.....	56
3.4.2 LabJack.....	56
3.4.3 National Instruments	56
3.4.4 Allen Bradley	57
CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO.....	61
4.1 DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y PROCESO DE OPERACIÓN.....	61
4.2 REQUERIMIENTOS DE MONITORIZACIÓN EN LA PLANTA DE BIOGÁS	65

CAPÍTULO 5. TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS	66
5.1 TECNOLOGÍAS PROPUESTAS	66
5.1.1 Hardware.....	66
5.1.2 Software	69
5.2 ANÁLISIS DE OPCIONES DENTRO DE LAS TECNOLOGÍAS PROPUESTAS	70
5.2.1 PIC 18F2455/2550/4455/4550	70
5.2.2 Microcontrolador ATmega8	71
5.2.3 Microcontroladores y tarjetas de desarrollo de Texas Instruments	71
5.2.4 Tarjetas de desarrollo Arduino	71
5.2.5 MATLAB.....	72
5.2.6 Aplicaciones	74
CAPÍTULO 6. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS	78
6.1 TECNOLOGÍAS PROPUESTAS	78
6.1.1 Características de selección.....	78
6.1.2 Forma de operación	82
6.1.3 Requerimientos del sistema propuesto	83
6.1.4 Recomendaciones.....	84
6.1.5 Ventajas y desventajas del sistema propuesto.....	84
6.2 ANÁLISIS DE COSTOS.....	86
CONCLUSIONES	88
REFERENCIAS.....	89
APÉNDICE.....	94
A.1 INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE LA TARJETA ARDUINO UNO A LA PC	94
A.2 HERRAMIENTAS DE LABVIEW	95
A.3 REQUERIMIENTOS DE LOS PROGRAMAS PROPUESTOS PARA EL SISTEMA PROPUESTO WINDOWS 7.....	97

Índice de Figuras

	Página
Figura 1.1 Producción de biocombustibles en México	2
Figura 1.2 Producción de biocombustibles en el mundo	3
Figura 1.3 Generación de RSU en las cinco entidades federativas de mayor producción	22
Figura 1.4 Generación de RSU a nivel nacional	22
Figura 1.5 Generación de RSU per cápita a nivel nacional	22
Figura 1.6 Generación de RSU por su composición a nivel nacional	23
Figura 1.7 Cantidad de RSU dispuestos en rellenos sanitarios, de tierra y sitios no controlados	26
Figura 2.1 Diagrama de bloques de un sistema de comunicación electrónica unidireccional	30
Figura 2.2 Composición de un sistema de monitorización	31
Figura 2.3 Representación gráfica de los sistemas de monitorización remota	31
Figura 3.1 Dependencia del pH por parte de la actividad metanogénica	47
Figura 4.1 Diagrama de la planta de biogás de Ciudad Universitaria	62
Figura 5.1 Estructura interna de un microprocesador	67
Figura 5.2 Estructura de un microcontrolador	68
Figura 6.1 Señal analógica digitalizada con una resolución de 10 bits	79
Figura 6.2 Diagrama de conexión de la tarjeta Arduino Uno	83
Figura 6.3 Diagrama de conexión y operación del sistema propuesto	83

Índice de Tablas

	Página	
Tabla 1.1	Productos biocombustibles según su estado	3
Tabla 1.2	Ventajas y desventajas del uso de biocombustibles líquidos	5
Tabla 1.3	Características generales del biogás	6
Tabla 1.4	Clasificación de los reactores por generación	8
Tabla 1.5	Características y riesgos de componentes del biogás	16
Tabla 1.6	Clasificación de los residuos sólidos	19
Tabla 1.7	Métodos y tecnologías para el tratamiento de residuos sólidos	24
Tabla 1.8	Ventajas y desventajas de la degradación anaerobia	27
Tabla 1.9	Uso de distintos métodos y tecnologías para el tratamiento de RSU a nivel mundial	28
Tabla 1.10	Uso de medios empleados a nivel mundial para la disposición de RSU	28
Tabla 2.1	Tipos de computadoras	38
Tabla 3.1	Rango de temperaturas y tiempo de fermentación anaerobia	43
Tabla 3.2	Residuos orgánicos de diversos orígenes	43
Tabla 3.3	Equipo de monitorización utilizado en la planta BENLESA de Monterrey	51
Tabla 3.4	Principales familias de tarjetas de adquisición de ADInstruments y sus características	57
Tabla 3.5	Principales familias de tarjetas de adquisición de LabJack y sus características	58

Índice de Tablas

		Página
Tabla 3.6	Principales familias de tarjetas de adquisición de NI y sus características	59
Tabla 3.7	Características principales de la familia SLC 500 de la compañía Allen Bradley	60
Tabla 4.1	Características de operación de los sensores utilizados en la planta	65
Tabla 5.1	Características principales de la familia PIC 18F	70
Tabla 5.2	Características principales de las familias de microcontroladores de ATmel	72
Tabla 5.3	Familias principales de microcontroladores de TI y sus características	73
Tabla 5.4	Tarjetas de desarrollo de Texas Instruments y sus características principales	74
Tabla 5.5	Tarjetas de desarrollo de Arduino y sus características principales	75
Tabla 6.1	Costo aproximado de la construcción de un sistema de monitorización remota con las tecnologías analizadas	87

GLOSARIO

Alcalinidad: Grado de concentración de sustancias que se comportan como base fuerte.

Briqueta: Conglomerado de carbón u otra materia en forma de ladrillo.

Enzimas: Proteína que cataliza específicamente cada una de las reacciones bioquímicas del metabolismo.

Éster: Compuesto orgánico que resulta de sustituir un átomo de hidrógeno de un ácido por un radical alcohólico.

Ethernet: Estándar de transmisión de datos para redes de área local (LAN).

Gas traza: Componente menor de la atmósfera.

Ignición: Acción y efecto de estar un cuerpo encendido, si es combustible, o enrojecido por un fuerte calor, si es incombustible.

Límites de explosión:

- Límite inferior de explosividad (LIE): Es la concentración mínima de gas en el aire por debajo de la cual una explosión no es posible.
- Límite superior de explosividad (LSE): Es la máxima concentración de gas en el aire por encima de la cual una explosión no es posible.

Lixiviar: Tratar una sustancia compleja, como un mineral, con un disolvente adecuado para separar sus partes solubles de las insolubles.

Monoalquílicos: Un solo grupo alquilo en un compuesto.

Oleaginoso: Aceitoso.

Pelet: Es un tipo de combustible granulado alargado a base de madera. Pellet no es una palabra existente en el vocabulario castellano, por lo que una palabra derivada de la expresión latina granum lignumi, como lignograno, sería más apropiada para nombrar este material.

Per cápita: Por cabeza, por cada individuo.

pH: Índice que expresa el grado de acidez o alcalinidad de una disolución.

Pila: La pila es una zona de memoria que sirve para almacenar datos durante un proceso cuando éste atiende a una subrutina o a una interrupción.

Poder calorífico: Es la cantidad de energía que la unidad de masa de materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.

Polímeros: Compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.

Potencial redox: Es una medida de la actividad de los electrones.

Presión crítica: Es una característica de cualquier sustancia, que define el campo en el que ésta puede transformarse en vapor en presencia del líquido correspondiente.

Solubilidad: Cualidad de soluble, que se puede disolver o desleír.

Temperatura crítica: Es la temperatura límite por encima de la cual un gas miscible no puede ser licuado por compresión.

Tiempo de retención de sólidos: tiempo promedio que los sólidos pasan dentro del reactor.

Tiempo de retención hidráulico: tiempo promedio que el lodo líquido se mantiene dentro del reactor

RESUMEN

En el presente trabajo se hace la proposición del uso de la tarjeta de desarrollo Arduino Uno con el microcontrolador ATmega328, los programas LabVIEW y LogMeln y la aplicación de escritorio de SkyDrive para la construcción de un sistema de monitorización remota para la planta piloto de biogás instalada en la cafetería CIBARIUM en Ciudad Universitaria. Se propone además que el equipo de cómputo para el procesamiento de la información y alojamiento de los programas sea una laptop que tenga 10 GB de disco duro como mínimo, procesador Pentium IV o posterior con 1.6 GHz de velocidad, al menos 1 GB de RAM, sistema operativo Windows 7 / 64 bits, Windows Server 2008, al menos dos puertos USB y un puerto Ethernet.

El sistema integra y aprovecha las nuevas tecnologías de comunicación, con el fin de reducir la demanda de recursos económicos y técnicos, además de facilitar la forma de tener acceso a la información deseada. Los usuarios involucrados en el proceso de producción de biogás en dicha planta, tendrán la posibilidad de conocer el comportamiento de los principales parámetros de operación al acceder a la computadora central instalada ahí (conocida como *host*) desde sus computadoras personales, teléfonos celulares o algún otro dispositivo que tenga los requerimientos básicos para poder utilizar LogMeln y SkyDrive, con tan sólo introducir la contraseña del host. La propuesta de sustituir equipos diseñados específicamente para la adquisición de datos por la tarjeta Arduino Uno se hace tomando en cuenta el ahorro económico que representa. En conjunto, la propuesta contempla la compatibilidad entre los equipos propuestos, los requerimientos de la planta, la facilidad de instalación, desarrollo y operación del sistema y el costo.

Si para el desarrollo e implementación del sistema de monitorización remota se contemplara el uso de tarjetas de adquisición disponibles en el mercado, el costo se podría incrementar desde dos o hasta ocho veces, en comparación con el uso de las tecnologías propuestas. La diferencia es bastante considerable si fuera necesaria la reproducción de dicho sistema en otras plantas de biogás que se pretenden instalar Ciudad Universitaria. Considerando un total de 13 cafeterías en Ciudad Universitaria y un mínimo de una tarjeta Arduino por cafetería con un costo de \$352 MXP cada una, se requiere un gasto de \$4576 MXP. Si se quisiera utilizar una tarjeta de adquisición de datos DAQ de National Instruments de bajo costo por cafetería, considerando que cada tarjeta tiene un costo de \$2605 MXP el gasto que se tendría que hacer sería de \$33865 MXP. El costo con las tarjetas LabJack sería de \$18252 MXP.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas anaerobios comenzaron a utilizarse a gran escala para el tratamiento de aguas residuales a principios de los años ochenta. Hoy en día, son muy utilizados a nivel mundial en una amplia gama de sectores productivos como industrias de alimentos, textiles, farmacéuticos, químicos, papel, bebidas, así como en sectores agropecuarios. Además, estos sistemas de tratamiento de aguas residuales también son ampliamente utilizados para aguas domésticas en países con un clima tropical o subtropical como México, Brasil India y China. En México, estos sistemas comenzaron a consolidarse como una opción tecnológica para el tratamiento de aguas residuales a principios de los años noventa. Actualmente en México se cuenta con 135 digestores, 86 tratando efluentes de diferentes sectores productivos y 49 para aguas residuales domésticas. El volumen total instalado es de 350,000 m³ aproximadamente. Del total de reactores anaerobios instalados, más de 50 se pusieron en marcha en la presente década, lo que indica un marcado aumento de su demanda a nivel nacional.

Aunado al tratamiento de las aguas residuales, se tienen los tratamientos de desechos sólidos en sistemas anaerobios como excrementos de ganado. Hace siete años aproximadamente se iniciaron las instalaciones de digestores para esta aplicación en la ganadería. Las fuentes de información documentan la existencia de 721 digestores en México, de los cuales, 563 corresponden a los derivados de proyectos de la iniciativa privada y 154 a los apoyados por el FIRCO-SAGARPA y cuatro más instalados bajo la iniciativa “metano a mercados en México”

Los tratamientos anaerobios de aguas residuales comúnmente poseen un sistema de monitorización remota para los parámetros de operación. En su mayoría, dichos sistemas son de importación con costos que alcanzan los millones de pesos. Hasta el momento no se cuenta con sistemas de este tipo realizados en México.

En Ciudad Universitaria se cuenta con una planta de biogás ubicada en la cafetería “Cibarium”, la cual utiliza los desechos orgánicos generados para la producción de biogás. La monitorización de los parámetros de operación es un factor crucial para el funcionamiento y estabilidad del proceso, pues de ellos depende la calidad del biogás producido. Por lo tanto, el conocimiento de su estado a lo largo del proceso es indispensable.

El diseño de un sistema de monitorización remota basado en el uso de una sola tecnología o equipos de una sola empresa limita las opciones de desarrollo y eleva su costo. Debido a esto y a que la mayoría están diseñados para trabajar en plantas industriales, se presentó la propuesta de construir uno propio con tarjetas

de adquisición convencionales. Sin embargo, el costo de éste seguía superando por mucho al presupuesto de investigación.

De acuerdo a la problemática explicada se aborda la siguiente hipótesis y objetivo para este trabajo.

HIPÓTESIS

Se puede crear un sistema de monitorización remota de muy bajo costo, en comparación con las ofertas del mercado, empleando el aprendizaje de los temas vistos en la Facultad en conjunto con el uso de nuevas tecnologías.

OBJETIVO

Proponer el uso de herramientas tecnológicas para la implementación de un sistema de monitorización remota de bajo costo, adecuado para la planta piloto de biogás instalada en Ciudad Universitaria y con factibilidad de expansiones futuras.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

1.1 BIOCOMBUSTIBLES

Etimológicamente se definirían así, a aquellos combustibles de origen biológico. Sin embargo, esta definición incluiría al petróleo por ser producto de restos fósiles (IICA, 2007), pero éste no se considera como tal. Se les llama biocombustibles a cualquier sustancia líquida, sólida o gaseosa que puedan ser usadas como combustibles y que se obtienen a partir de materia orgánica conocida como biomasa. Ésta se produce a partir de actividades agrícolas, ganaderas y residuos urbanos e industriales, influyendo el origen en sus características y calidad. Los biocombustibles se consideran una fuente de energía renovable (CEIM, 2006). Su presencia destaca como una alternativa eficiente ante la escasez de combustibles generados a partir de restos fósiles y los problemas climático-ambientales, debido a la reducción en la emisión de gases efecto invernadero que su uso conlleva, sobre todo en los servicios de transporte (NVE, 2007). Es por esto, que países como Brasil, Estados Unidos, Alemania y Colombia, intensificaron la investigación, el desarrollo de tecnologías e incorporación de éstos al sector energético. Como resultado de estas acciones, su producción a nivel internacional se duplicó en el primer lustro del presente siglo (SENER, 2010) y continuó con la tendencia hacia el 2010. En las Figuras 1.1 y 1.2 se muestra el crecimiento de la producción de biocombustibles en México y en el mundo respectivamente. Existen distintas maneras de procesar la biomasa. De esto depende el estado en que se obtienen los productos biocombustibles. En la Tabla 1.1 se muestran los distintos biocombustibles obtenidos después del tratamiento según su estado. En varios casos un material puede ser sometido a diferentes procesos en un mismo ciclo y obtener subproductos de distinta naturaleza (NVE, 2007). De esta manera, por ejemplo, al tratar desechos orgánicos con fermentación, que es un tratamiento bioquímico, se obtienen biocombustibles gaseosos, pero también subproductos que pueden procesarse mecánicamente para después obtener algún biocombustible sólido. Algunas de las formas de tratamiento se describirán más a detalle cuando se hable de los residuos sólidos urbanos.

1.1.1 Biocombustibles sólidos

Las principales fuentes de donde se pueden extraer biocombustibles sólidos son la madera, el papel y partes de árbol. Se utilizan comúnmente en las tareas diarias del hombre, como calentar el agua, la casa y la comida. La paja se utiliza en centrales térmicas para producir agua caliente. En los países en desarrollo el carbón vegetal es un combustible muy importante y en algunos casos es material de exportación. Este se produce mediante la pirólisis, aunque más de la mitad de la energía contenida en la madera se pierda durante el proceso. A grandes

escalas se utiliza como un agente reductor en la industria de la metalurgia (NVE, 2007). La eficiencia y conveniencia en el uso de biocombustibles sólidos dependen de las siguientes características:

- *Poder calorífico*: hace referencia a la cantidad de energía producida por un kilogramo de combustible y está ligado directamente con la humedad de éste pues, entre más humedad tenga, su eficiencia durante la combustión será menor.
- *Densidad*: es el peso del material por unidad de volumen. Los materiales con una alta densidad favorecen la relación de energía por unidad de volumen.
- *Porcentaje de cenizas*: se toma en cuenta para conocer el rendimiento energético de un biocombustible principalmente, aunque también, es un factor que repercute de manera importante en la limpieza del lugar en el que se utilizan los biocombustibles y en el mantenimiento de las máquinas con las que éstos interactúan.
- *Contenido de humedad*: generalmente el porcentaje de humedad de los combustibles sólidos debe ser inferior a un 30%, de lo contrario se acarrearán grandes problemas como un poder calorífico pobre, una gran cantidad de producción de cenizas, pérdida de eficiencia energética, entre otros.

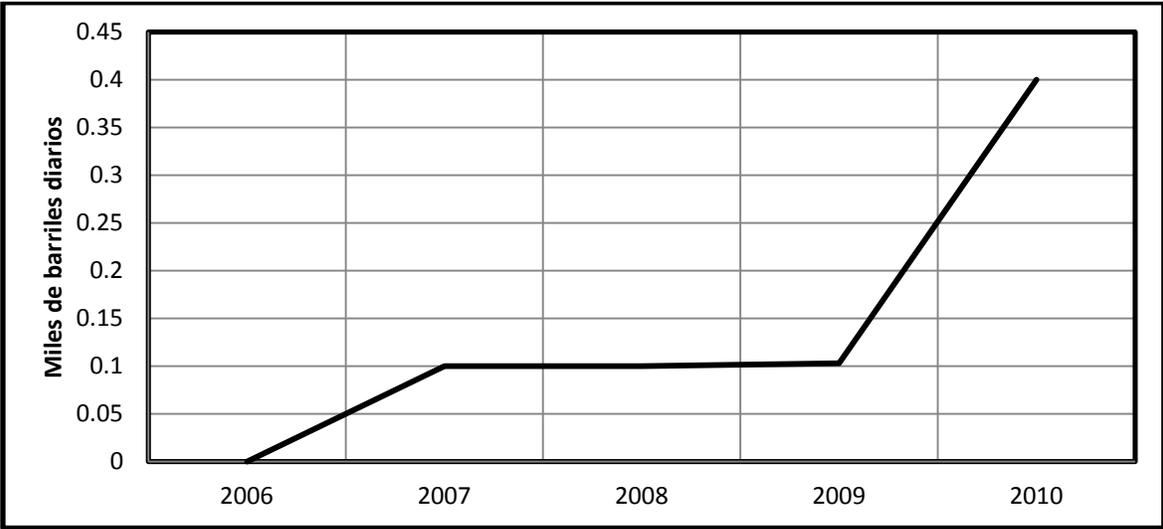


Figura 1.1 Producción de biocombustibles en México (EIA, 2012)

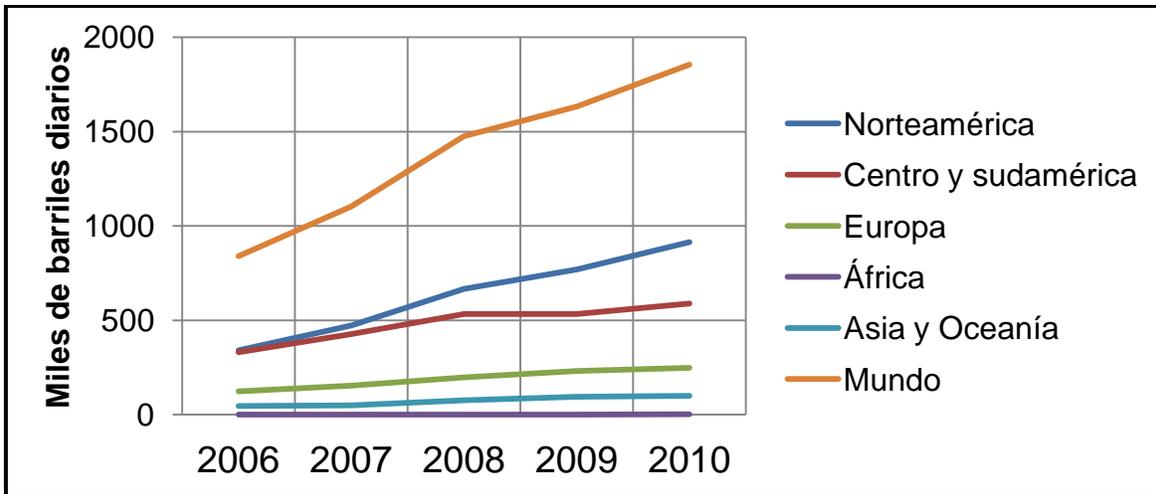


Figura 1.2 Producción de biocombustibles en el mundo (EIA, 2012)

Tabla 1.1 Productos biocombustibles según su estado (NVE, 2007)

Biocombustibles		
Sólidos	Líquidos	Gaseosos
<ul style="list-style-type: none"> • Viruta seca • Briquetas • Pelets • Carbón vegetal • Astillas • Paja 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcoholes • Ésteres • Aceites vegetales • Aceites de pirólisis 	<ul style="list-style-type: none"> • Biogás • Hidrógeno

1.1.2 Biocombustibles líquidos

Los biocombustibles líquidos tienen grandes ventajas con respecto de los sólidos y los gaseosos, pues son fáciles de almacenar, transportar, manejar y regularmente tienen mayor potencial energético que los otros (NVE, 2007). La factibilidad de emplearlos en motores de combustión interna (diésel y Otto) propicia que sean los de mayor presencia dentro del grupo de los biocarburantes. Se obtienen mediante transformaciones biológicas y físico-químicas, a partir de materias primas vegetales como caña de azúcar, trigo (en grano o paja), sorgo, maíz, yuca y remolacha, entre muchas otras. Existe una lista de más de 300 vegetales que sirven para este fin (CEIM, 2006; SENER, 2007). Dentro de los biocombustibles líquidos, destacan dos por sus características energéticas: el biodiésel y el bioetanol.

Biodiésel

Según la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), el biodiésel se define como *“ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión”* (CEIM, 2006). Se considera el más importante dentro de los bioaceites (aceites vegetales), obtenidos a partir de la trituración, compresión, pirólisis o extracción química de especies oleaginosas, principalmente de las semillas y frutos de plantas como girasol, palma, soja y colza. Los producidos por ésta última son los que más se utilizan. A diferencia del resto de los aceites vegetales, su uso no hace necesaria ninguna modificación a los motores convencionales de diésel, gracias a las características de los ésteres que lo componen. Estos tienen un contenido energético de 9.2 kWh/L aproximadamente, que es casi el mismo que el del diésel (NVE, 2007). Su principal ventaja es disminuir considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero, el humo negro y el olor (CEIM, 2006; Jiménez, 2010). En el año 2008, Alemania y Estados Unidos fueron los principales productores de este biocombustible con 2,200 y 2,000 millones de litros producidos respectivamente. Francia, Argentina, Brasil y Tailandia produjeron entre 0.4 y 1.6 mil millones de litros cada uno (REN21, 2009).

Bioetanol

El bioetanol o alcohol etílico se obtiene a partir de la fermentación de azúcares que se encuentran en los vegetales, tales como el cereal, la remolacha y, la más importante, la caña de azúcar. En la actualidad hay automóviles que lo usan como combustible. Otro alcohol que se puede utilizar con esta finalidad es el metílico o metanol. Se obtiene mediante la destilación de madera y gas natural. Sin embargo, es más complicado su uso en motores convencionales por su reacción como material corrosivo. Esto implica un remplazo en los materiales con que se construyen dichos motores y en la infraestructura para su distribución como combustible. El uso de estos alcoholes en motores como una alternativa a la gasolina tuvo gran apogeo en los años sesenta después de una crisis energética (CEIM, 2006; NVE, 2007). Para el año 2004, la producción mundial de bioetanol superó los 40,000 millones de litros. Los países con mayor producción fueron Brasil, con 15,066 millones de litros obtenidos principalmente de la caña de azúcar, y Estados Unidos con 13,351 millones de litros procedentes del almidón de maíz. Para el año 2008, estos países produjeron 27,000 y 34,000 millones de litros respectivamente. China, Francia, Canadá y Alemania produjeron entre 0.5 y 2 mil millones de litros cada uno (REN21, 2009).

Cabe destacar que hasta el momento no existe algún biocombustible líquido que sea más o menos ventajoso que algún otro. Producir bioalcoholes o bioaceites resulta más costoso que la generación misma de gasolina y gasóleo. En la Tabla 1.2 se muestran algunas ventajas y desventajas del uso de los biocombustibles líquidos.

Tabla 1.2 Ventajas y desventajas del uso de biocombustibles líquidos (Valentinuzzi, 2000)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - No incrementan los niveles de CO₂ en la atmósfera, con lo que se reduce el peligro del efecto invernadero. - Proporcionan una fuente de energía reciclable y, por lo tanto, inagotable. - Revitalizan las economías rurales, y generan empleo al favorecer la puesta en marcha de un nuevo sector en el ámbito agrícola. - Se podrían reducir los excedentes agrícolas que se han registrado en las últimas décadas. - Mejoran el aprovechamiento de tierras con poco valor agrícola y que, en ocasiones, se abandonan por la escasa rentabilidad de los cultivos tradicionales. - Mejora la competitividad al no tener que importar fuentes de energía tradicionales. 	<ul style="list-style-type: none"> - El coste de producción de los biocombustibles dobla, aproximadamente, al de la gasolina o gasóleo (sin aplicar impuestos). Por ello, no son competitivos sin ayudas públicas. - Se necesitan grandes espacios de cultivo, dado que del total de la plantación sólo se consigue un 7% de combustible. - Potenciación de monocultivos intensivos, con el consiguiente uso de pesticidas y herbicidas. - Los biocombustibles precisan de una transformación previa compleja. Además, en los bioalcoholes la destilación provoca, respecto a la gasolina o al gasóleo, una mayor emisión en dióxido de carbono. - Su uso se limita a un motor de bajo rendimiento y poca potencia.

1.1.3 Biocombustibles gaseosos

Una tendencia actual es emplear biomasa residual como materia prima para la obtención de biocombustible en estado gaseoso, por ejemplo, aguas residuales,

residuos agroindustriales, residuos forestales y residuos sólidos urbanos. Estos se pueden emplear para:

- La obtención de energía térmica mediante el proceso de combustión
- Generación de electricidad utilizando dispositivos electromecánicos o electroquímicos
- Producción de energía mecánica a través de su transformación en motores de combustión interna o externa

Los dos más importantes son el biogás y el biohidrógeno. El biogás es una mezcla gaseosa, compuesta principalmente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), generada durante la degradación de residuos orgánicos en condiciones controladas y en un medio carente de oxígeno. A este proceso se le conoce como degradación anaerobia. Su composición depende del material digerido y de los equipos usados en su generación. En la Tabla 1.3 se muestran las características generales que posee. Debido a sus altas concentraciones de metano, es un gas inflamable, por lo tanto, puede ser capturado y aprovecharse energéticamente para convertirlo en electricidad o mediante su combustión en motores, turbinas, calderas o simplemente mezclándolo con otro combustible. Su poder calorífico, considerando un 60% de metano en su composición, es de 5,500 Kcal/Nm³, que es casi la mitad que el del gas natural (9,000-11,000 Kcal/Nm³) (IDAE, 2007; Deublein y Steinhauser, 2008).

Tabla 1.3 Características generales del biogás (Deublein y Steinhauser, 2008)

Composición	55 – 70% metano (CH_4) 30 – 45% dióxido de carbono (CO_2) ≤5% de hidrógeno (H_2), ácido sulfhídrico (H_2S)
Contenido energético	6.0 – 6.5 kWh/m ³
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C

El biohidrógeno es obtenido a partir de procesos termoquímicos como la gasificación. Para ello es necesario separarlo de otros gases producidos al mismo tiempo, lo que encarece este método. También se puede obtener mediante algas que se encuentren en un medio carente de azufre, ya que durante la fotosíntesis dejarán de producir oxígeno y comenzarán a producir hidrógeno (NVE, 2007).

1.2 GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE REACTORES ANAEROBIOS

Con el fin de producir biogás, a nivel mundial se han diseñado distintas plantas y sistemas que propician las condiciones necesarias para llevar a cabo la digestión anaerobia. Para que este proceso ocurra es indispensable que se realice dentro de un espacio carente de oxígeno. Para esto, se construyen rellenos sanitarios o se acondicionan reactores anaerobios en instalaciones para el tratamiento de aguas residuales o de residuos sólidos. Son varias las formas en que los reactores anaerobios o digestores pueden construirse. Hay configuraciones que fueron diseñadas con propósitos específicos o como mejora a los modelos ya existentes (Noyola, 1994). Se consideran al modelo hindú y al modelo chino como los dos modelos primarios a los cuales se les agregaron nuevas tecnologías para su optimización (Guevara, 1996).

1.2.1 Tipos de reactores anaerobios para tratamientos de residuos sólidos.

Existen distintos diseños y tipos de reactores destinados a la producción de biogás mediante la degradación anaerobia. Son diversas las clasificaciones y divisiones que se han hecho de éstos. La más común, mostrada en la Tabla 1.4, es en tres generaciones, según su evolución en términos tecnológicos y de capacidad de conversión.

En seguida, se describen los tipos de reactores más comunes para el tratamiento de residuos sólidos, exclusivamente.

Modelo hindú

Consiste en una fosa o en un tanque pequeño, los cuales funcionan como un reactor, propiciando las condiciones de degradación anaerobia de la materia orgánica, al estar aislados herméticamente. El aislamiento se logra debido a que el reactor se encuentra enterrado. En la parte superior (casi al nivel de la superficie), cuenta con una cúpula móvil, llamada también campana flotante, balanceada por contrapesos en donde se almacena el gas producido a presión constante. Los contrapesos modifican la presión de salida. La campana cuenta con un gasómetro de acero. Éste posee una camisa que se desliza en un eje y lo mantiene centrado para que no haga contacto con las paredes. Tiene además dos tanques extra para la carga de materia orgánica y otro para la descarga del compost. La carga se hace por gravedad. Son alimentados continuamente (se puede hacer una carga diaria o de dos a tres días). Su tiempo de retención va de los 10 a los 30 días. Su costo es elevado debido al gasómetro (Nakasima y col., 2011).

Tabla 1.4 Clasificación de los reactores por generación (Noyola, 1994)

Generación	Reactor anaerobio	Características
Primera	<ul style="list-style-type: none"> • Lagunas anaerobias • Tanques sépticos • Modelo hindú • Modelo chino • Carga • Mezcla completa sin recirculación • Contacto anaerobio 	La biomasa se encuentra totalmente sedimentada o en suspensión sin recirculación de sólidos. La producción de biogás no excede los 1.5 m ³ por m ³ del reactor.
Segunda	<ul style="list-style-type: none"> • Filtro anaerobio • De flujo suspendido • Contacto con material de soporte • Contactores biológicos rotativos anaerobios 	Aumentan la retención de organismos dentro del reactor, agregando soportes o mediante su sedimentación.
Tercera	<ul style="list-style-type: none"> • Lecho móvil o fluidificado 	Contienen los microorganismos en forma de biopelículas adheridos a un soporte el cual se expande o fluidifica. Utilizan recirculación para provocar un flujo ascendente.

Modelo chino

Este modelo fue desarrollado en China con el fin principal de producir abono y no el de obtener biogás. Se entierra junto con cámaras de hidropresión para favorecer la fermentación. Su estructura es cilíndrica con las partes superior e inferior en forma de domo. Se distingue del anterior modelo porque su cúpula es fija y porque la presión del gas es variable. Ésta se almacena en el domo y gracias a ello se fuerza la salida de los líquidos presentes en el conducto de entrada y en el de salida. La carga se lleva a cabo en dos etapas. Durante la primera se ocupa un 70% de la capacidad del reactor con estiércol y con un inóculo. En la segunda se hace la alimentación con biomasa de manera continua. Después de 6 meses se vacía totalmente y se hace el llenado de la misma manera. Se caracteriza por su

alta formación de espuma y porque su tiempo de retención va de los 30 a los 60 días. Su costo de construcción es bajo (Nakasima y col., 2011).

Reactor discontinuo

Es el de proceso más simple y el que demanda menos equipo. Se alimenta sólo una vez y se vacía totalmente. Consiste en un gran tanque de almacenamiento dentro del cual no hay algún elemento mecánico que acelere el proceso. La materia con la que se alimenta el reactor debe de contener un inóculo de microorganismos anaerobios que favorezca la digestión. La mezcla se lleva a cabo por la agitación que provoca el biogás generado en su camino hacia la superficie. Es gracias a este desplazamiento del biocombustible que ocurre una estratificación en el interior del digestor en cuatro zonas:

- Capa superior (de nata o de espuma)
- Capa media (líquida o sobrenadante)
- Capa inferior alta (para digerir los sólidos)
- Capa inferior baja (de sólidos digeridos)

La alimentación del reactor se lleva a cabo en la parte superior de la cubierta, misma desde la que se extrae por un tubo el biogás formado en el proceso. Los sobrenadantes se evacuan por un costado y los sólidos digeridos desde la parte inferior. Este tipo de reactores son ideales para substratos con gran cantidad de materia sólida, por lo que el tiempo de retención será muy alto (de 30 a 60 días). No obstante, su producción de biogás es baja. Su aplicación es rural y a baja escala (IDAE, 2007).

Reactor de Mezcla Completa (RMC)

Se le llama también reactor de tanque continuamente agitado o CSTR por ser las siglas en inglés de Continuous Stirred-Tank Reactor. Este tipo de reactores son una mejora de los discontinuos. En ellos la alimentación y el drenado son continuos y uniformes. Es por esto que el substrato a digerir debe de ser semilíquido y homogéneo. Para lograr la homogeneidad es necesario un sistema de mezclado total. Además se agrega una etapa de calentamiento que, aunada a la mezcla completa y al influente continuo, provoca la reducción en el volumen del digestor. Para estos reactores, el tiempo de retención va de 10 a 30 días. Como las bacterias formadoras de metano crecen a menor velocidad que las que forman ácidos, se les considera como el componente limitante en la degradación anaerobia. El proceso de arranque de la digestión puede tardar de 30 a 90 días. Este reactor se utiliza en el tratamiento de influentes con contenido de estiércol

como son las aguas residuales urbanas y las provenientes de actividades agrícolas o agroindustriales (IDAE, 2007).

Reactor de flujo de pistón

Está orientado horizontalmente y construido fijamente dentro de un tubo de concreto. La tasa de crecimiento de microorganismos y la concentración de sustrato son elevadas a la entrada del reactor. Esto provoca que el tiempo de retención sea bajo. Se utiliza para tratar residuos sólidos urbanos orgánicos y residuos agropecuarios. Presenta las ventajas de ocupar un espacio reducido, requerir un bajo consumo de agua y tener un alto grado de degradación de sólidos. La desventaja que presenta es la falta de homogeneización en la sección transversal a la dirección de flujo. Este aspecto se puede solucionar con un sistema de agitación transversal, reintroduciendo el biogás a presión en su base (IDAE, 2007; Nakasima y col., 2011).

Sistemas de dos reactores

De los tipos de reactores mencionados anteriormente, se hacen a su vez arreglos que combinan las ventajas de dos de ellos para obtener mejores resultados en el proceso de la obtención de biogás. A este tipo de configuraciones se les conoce como *sistemas híbridos*. Existen dos de este tipo: *sistema de dos etapas* y *sistema de dos fases*.

El sistema de dos etapas consiste en un reactor con un tiempo de retención elevado seguido de otro con bajo tiempo de retención. En el primero se favorece la hidrólisis y en el segundo se digiere la materia disuelta y los ácidos producidos en la etapa anterior. Esta configuración permite mantener de manera sencilla la temperatura en el primer reactor, controlando la temperatura del efluente del segundo reactor o viceversa (IDAE, 2007).

En el sistema de dos fases se llevan a cabo la acidogénesis y metanogénesis en ambos reactores, los cuales están conectados en serie. Su finalidad es lograr un tiempo de retención global menor al de un solo reactor de mezcla completa. El tiempo de retención del primer reactor es menor que el del segundo (IDAE, 2007).

1.2.2 Ejemplos de plantas de biogás

La producción de biogás se hace en plantas que difieren en su tamaño (escala) y en la tecnología empleada. Estas se diseñan según las condiciones y características particulares del medio en el que se construirán, además de considerar el tipo y la cantidad de material que se utilizará como sustrato. Existen varias soluciones técnicas y tecnológicas que pueden adecuarse según la escala

del proyecto y, por ende, de factores como inversión, uso final de los productos obtenidos, metas energéticas y demás. Con base en esto, se pueden identificar plantas de baja y gran escala. Las primeras están construidas regularmente en zonas tropicales, se utilizan para tratar residuos domésticos, de granjas o de establos y el biogás producido se emplea para cocinar o calentar agua. Las de gran escala son construidas para tratar grandes cantidades de residuos de diversos orígenes. Su operación requiere de monitorización continua, una tecnología más avanzada y de sistemas de control que mantengan estable al proceso.

En la última década, la construcción y puesta en marcha de plantas de biogás se extendió por todo el mundo. La problemática ambiental provocó que tanto los países desarrollados como subdesarrollados elaboraran proyectos para el tratamiento de residuos y el aprovechamiento de la energía producida durante el proceso. El auge y apoyo a este tipo de proyectos se debe en gran parte a la creación del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Éste es uno de los *mecanismos flexibles* del Protocolo de Kyoto que tiene dos principales objetivos:

- Ayudar a los países en desarrollo para que contribuyan a la prevención de la problemática del cambio climático y al mismo tiempo lograr un desarrollo sustentable, y
- Ayudar a los países industrializados a lograr su cumplimiento en la limitada emisión de gases de efecto invernadero.

A continuación se describen brevemente tres tipos diferentes de plantas de biogás según su construcción y el material que tratan. La primera está ubicada en Alemania y se considera la más grande del mundo hasta este año. Su materia prima proviene de desechos agrícolas provenientes de la zona en la que es construida. La segunda es la planta de la Farfana, ubicada en Chile. Produce biogás mediante el tratamiento de aguas residuales. Por último, la planta BENLESA de México se distingue por ser un relleno sanitario.

Parque de Biogás en Penkun.

En el pueblo de Penkun, ubicado al noreste de Alemania, se encuentra el parque de biogás más grande del mundo con una extensión territorial de 15 hectáreas, el equivalente a 20 canchas de fútbol. Su construcción comenzó en el año 2006 e inició operaciones dos años más tarde. Cuenta con 40 tanques digestores de 50 metros de diámetro cada uno, capaces de resistir el peso de 15,000 metros cúbicos de biomasa. En conjunto, proveen 20 MW de energía eléctrica, suficientes para abastecer a una población con 40,000 hogares. El parque se construyó cerca de una región con más de 230,000 hectáreas dedicadas a la agricultura,

asegurando con esto el suministro de la materia prima destinada a los digestores aún en épocas de crisis en el campo. Dicha materia prima se compone de maíz, trigo y estiércol líquido. De éste último, se procesan cerca de 84,000 toneladas al año en el parque. El gas producido se usa para la generación de electricidad, mientras que con los residuos de la fermentación se produce fertilizante de alta calidad (EB, 2008).

Planta de biogás: La Farfana

La planta se ubica en Maipú, municipio al poniente de Santiago de Chile. La Farfana fue originalmente una planta de tratamiento de aguas residuales, en la que desde su construcción se generó biogás, pero no con la finalidad de generar electricidad, sino que se utilizaba como combustible en las calderas. Fue hasta el año 2007 en el que se inició el proceso de construcción específicamente de una planta de biogás. Un año después se hizo el primer despacho de este biocombustible a la empresa Metrogas. La planta de biogás recibe las aguas residuales de Santiago, las trata y procesa para obtener biogás, el cual a su vez es enviado a una fábrica que se encarga de producir gas de ciudad. Esta se compone de ocho digestores cada uno con capacidad de 15,000 m³. El proceso de descomposición dentro de cada digestor se lleva a cabo a 35° C. Para el año 2009, la planta produjo cerca de 24 millones de m³ anuales, los cuales se destinaron para el consumo de 100,000 habitantes de la región (AA, 2010).

BENLESA

Inició operaciones en el año 2003. BENLESA fue la primera planta de Latinoamérica en emplear como combustible el biogás generado en un relleno sanitario. Se localiza en el estado de Nuevo León, México. La energía generada se destina al metro de la ciudad de Monterrey y al alumbrado público de ésta y su zona conurbada. En esta planta se procesan 5,000 toneladas de basura para generar 17 MW de energía eléctrica. Se estima que operará entre 25 y 30 años, dependiendo de la cantidad de residuos de los que se dispone. En el año 2009, esta planta quedó registrada como proyecto del MDL. La obtención de biogás se lleva a cabo mediante la perforación de pozos en el relleno sanitario; pasa por un tratamiento de deshidratación con el fin de purificar el gas; se conecta a un sistema de tuberías que dirige el combustible hacia los motores en donde se hará la conversión de energía mecánica a eléctrica o hacia una antorcha. Son ocho los motores generadores instalados con una capacidad total de 8.48 MW. Cada uno es independiente en su operación, dando al sistema un carácter de flexibilidad para futuras expansiones y mayor facilidad para frenar alguno y darle mantenimiento o por necesidad de reparación sin afectar el funcionamiento de los demás. La electricidad es generada a 480 volts y 60 Hz. En una subestación de

transformación se eleva el voltaje a 34,500 volts y de ahí se suministra a la línea de transmisión (SIMEPRODE, 2007).

1.2.3 Instalación típica de una planta de biogás

Sin importar su escala, una instalación típica de una planta que produce biogás cuenta con una serie de elementos básicos mencionados a continuación:

a) Área de almacenamiento y pre-tratamiento de la materia orgánica

Las plantas de biogás, generalmente, reciben la materia orgánica que será utilizada como biomasa en forma de residuos, es decir, no están clasificados ni acondicionados para su tratamiento pues son recolectados como desechos. Estas áreas suelen tener tanques almacenadores de residuos a separar o de biomasa lista para ser introducida al reactor. La capacidad de éstos depende de la cantidad promedio de materia que se procesa en la planta.

b) Dispositivos de conducción

Generalmente se forma por tubería (de plástico o de metal) auxiliada por bombas de aire que conducen la biomasa, desde la zona de almacenamiento hacia el interior del reactor, y al efluente extraído, desde el mismo hasta la zona de almacenamiento y tratamiento. En casos en los que se utiliza la recirculación se utilizan materiales del mismo tipo para introducir nuevamente el sustrato al digestor.

c) Reactor

Dispositivo principal en el que se lleva a cabo la degradación anaerobia de la biomasa. Pueden tener forma cúbica, ovoide, rectangular o, la más empleada, cilíndrica. Por lo regular, el suelo del reactor tiene una inclinación para que el material de mayor peso y el que sedimenta puedan ser extraídos. Son distintos los materiales con los que se pueden construir (Guardado, 2007).

d) Almacenador de biogás

El biogás producido en el reactor puede almacenarse en la parte superior de éste o en un depósito a parte conocido como gasómetro. En ambos casos se busca que la presión se mantenga constante (Varnero, 2011).

e) Tubería de gas

Desde la recolección de biogás en el digestor hasta su disposición final se utilizan tuberías para conducirlo. Los materiales con los que se construyen deben de considerar las propiedades corrosivas de los gases traza, la presión a la que se

trabajar y prevenir los riesgos de fuga. Factores como el diámetro dependen de la distancia comprendida entre la planta y el sitio de consumo del biocombustible. Dentro de este sistema se contemplan los siguientes dispositivos para el tratamiento que se debe de dar al biocombustible antes de su uso final:

- Mangueras flexibles
- Válvulas de seguridad y rompedora de vacío
- Trampa de llama
- Válvulas térmicas
- Separador de sedimentos
- Purgadores de condensado
- Medidores de gas
- Manómetros
- Reguladores de presión

Las válvulas de seguridad y rompedora de vacío se instalan para prevenir problemas provocados por las variaciones de presión que pueda haber en el sistema. Las primeras liberan gas cuando hay un exceso de presión dentro del reactor, mientras que la segunda alivia presiones negativas que puedan colapsarlo. Por su parte, las válvulas térmicas y la trampa de llama prevén riesgos generados por alguna fuente de llama en la tubería (Varnero, 2011).

Tanto el separador de sedimentos como los purgadores de condensado se utilizan para comenzar el tratamiento de purificación del biogás. El primero se ubica generalmente en la parte superior del reactor. Su función es detener algunas incrustaciones que la corriente de gas pueda llevar y quitar parte de la humedad presente. El vapor de agua que permanece, se condensa en el recorrido del biocombustible a través de la tubería debido al decremento en la temperatura. Esto afecta la circulación y reduce la capacidad de uso del biogás, además de que puede provocar daños a los distintos equipos. Los purgadores de condensado se utilizan para recoger el agua producto de la condensación (Varnero, 2011).

f) Área de almacenamiento y tratamiento del efluente

El efluente producido durante la degradación anaerobia puede almacenarse en contenedores en donde se les dará un tratamiento según las características que se quiera tener del compost o fertilizante.

1.2.4 Seguridad en una planta de biogás

En los últimos años la producción de biogás ha demostrado ser una medida eficaz para reducir las emisiones de metano que genera el almacenamiento de distintos tipos de residuos sólidos (especialmente orgánicos). Consecuentemente la

demanda, instalación y puesta en marcha de plantas para la obtención de biogás ha crecido. Sin embargo, no existe hasta el momento una estandarización para el diseño y construcción de plantas de biogás, ni mucho menos alguna que contemple las medidas de seguridad que deban de tener. Los riesgos que conlleva una mala operación van desde heridas físicas o perjuicios a la salud de las personas que laboran en ellas y las que viven en las cercanías, así como en daños a las instalaciones y al ambiente. Para que la operación sea segura, se deben de considerar los aspectos eléctricos relacionados a la alimentación de los equipos de la planta y a la cogeneración, además de la presión del biogás en los reactores y tuberías. Una falla o mal manejo de la electricidad o una variación brusca de la presión, implican un alto riesgo de incendio o de explosión. Por otra parte, las fugas del sustrato fermentado, ya sean dentro de la misma planta o en su traslado hacia otra región para su posterior tratamiento, que tengan como destino el suelo o algún cuerpo de agua pueden provocar severos daños al ambiente.

El máximo riesgo presente en la producción de biogás se debe a su inflamabilidad y explosividad (Bradfer, 2002). Recordando lo visto en el primer capítulo, el biogás se compone entre un 50 y 70% de metano y entre un 30 y 45% de dióxido de carbono principalmente, con concentraciones menores al 5% de sulfuro de hidrógeno y muy poca presencia de amoníaco, nitrógeno y monóxido de carbono. Tanto el dióxido de carbono como el amoníaco y el sulfuro de hidrógeno se consideran gases tóxicos (Bidingmaier, 2009). En la Tabla 1.5 se muestran las características principales de dichos gases y los riesgos que representan a la salud. Esto representa un grave peligro para las personas que tienen que trabajar en algún momento dentro de los digestores. Durante la producción del biogás puede darse un incremento en la concentración de los dos últimos gases tóxicos mencionados. Sus componentes son químicos agresivos, lo que implica un peligro continuo ya que están en constante contacto con los muros de los reactores, tuberías y válvulas. Es por esto que la zona en la que se ubica la planta puede ser considerada como de riesgo explosivo. Es importante aclarar que el biogás por sí mismo no es explosivo. Sin embargo, si el biogás entra en contacto con el oxígeno presente en el aire o con alguna fuente de chispas o fuego provocaría una detonación instantánea. Otras causas de explosión pueden ser la variación de presiones del gas dentro de los reactores y tuberías o por la corrosión de estas (Rettenberger, 2009).

Tabla 1.5 Características y riesgos de los componentes del biogás (Bidlingmaier, 2009; Steiglechner y Schulz, 2011)

Gas	Características	Riesgos
Metano	El límite inferior de explosividad (LIE) del metano es 4.4% y el superior es 16.5%. Esto significa que las concentraciones de este gas comprendidas en este rango pueden producir un ambiente explosivo.	Cuando el metano se combina con el oxígeno del aire, se reduce la presencia del oxígeno hasta el punto de provocar asfixia.
Dióxido de carbono	Es incoloro, inodoro y más pesado que el aire. Esto último implica un riesgo de acumulación en zonas bajas de lugares cerrados. Se considera gas tóxico.	En concentraciones entre el 1 y el 5% produce mareos y cuando alcanza el 9% conduce a la sofocación. Es peligrosa la exposición de las personas ante concentraciones de este gas mayores a 30 ppm.
Sulfuro de hidrógeno	Es incoloro y más pesado que el aire. Es un gas tóxico.	En concentraciones de 50 mg/m ³ es perceptible al olfato. Cuando se alcanzan los 150 mg/m ³ causa irritación en las membranas mucosas. Por encima de los 500 mg/m ³ puede provocar desde parálisis olfativa hasta dolor ocular e incluso la muerte.
Amoníaco	Es más ligero que el aire. Es un gas tóxico, picante y lacrimógeno.	En concentraciones mayores a 25 ppm provoca irritación en las membranas mucosas y en los ojos.

Con base en lo expuesto anteriormente, se enuncian las medidas de seguridad que se consideran necesarias en una planta de biogás, de acuerdo a tres aspectos:

1. Empleo de la tecnología adecuada para la operación y monitorización de la planta de biogás (Kraft y Bidlingmaier 2009 ; Rettenberger, 2009):

- Los materiales de los que están hechos los reactores, tuberías y válvulas, deben de ser altamente resistentes a las reacciones químicas y durante largos periodos.
- El equipo en donde se lleva a cabo el almacenamiento del biogás producido debe de ser resistente a más de la presión a la que será sometido, a la interacción con sustancias químicas, a los rayos ultravioleta y a las variaciones de temperatura y de condiciones climáticas.
- La colocación de los sensores debe de ser precisa
- Los sensores de metano deben de ajustarse a un 0.88% de la concentración total del gas, que es equivalente al 20% de su LIE, para evitar que las concentraciones de este gas lleguen al rango de explosividad.
- Los equipos por donde se produce y conduce el biogás deben de ser totalmente herméticos.

2. Capacitación del personal y obligaciones de los trabajadores y operadores de la planta de biogás (Bidlingmaier, 2009; Steiglechner y Schulz, 2011):

- Conocer los riesgos que conlleva la exposición ante los gases tóxicos y, de ser necesario, contar con equipo de protección.
- Realizar constantes inspecciones para verificar que todos los equipos por donde se conduce y produce biogás no tengan fugas.
- Llevar a cabo pruebas de operación en el equipo de almacenamiento en las cuales se le someta a trabajar con presiones mayores a las de operación para comprobar su correcto funcionamiento.
- Saber las formas de prevenir situaciones de explosión e incendio y de cómo proceder ante ellas.
- Calibrar los sensores periódicamente.

3. Diseño estructural de la planta de biogás (Kraft y Bidlingmaier 2009):

- Las instalaciones deben de tener ventilación y rutas de escape señaladas.
- La tubería debe contar con dispositivos de seguridad que prevengan las variaciones de presión posibles.

- Construir una zona segura para la conexión y operación de equipo eléctrico.
- Disposición de un lugar para el tratamiento de los efluentes lo más cercano que sea posible a la planta.
- En caso de existir, las puertas deben de abrirse fácilmente en sentido de la ruta de escape.

1.3 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

El crecimiento de las ciudades, aunado al de la población mundial y la concentración de ésta en las regiones urbanas; así como la tendencia de las sociedades de manera generalizada por adquirir el estilo de vida consumista e industrial de los países desarrollados, han tenido como consecuencia el incremento constante en la producción de desechos en las casas, industrias, oficinas, etc. El nombre que se le ha dado a este tipo de desechos es el de *residuos sólidos*. Su destino final, al no ser controlado, repercute de manera altamente perjudicial en el medio (manifestándose esto en la contaminación de suelos, aire, aguas superficiales y aguas subterráneas) y en la salud de los seres vivos que ahí habitan. Es por esto que de manera global, desde finales del siglo pasado, se han tomado medidas políticas y legislativas para atacar la problemática concerniente a los desechos y a su tratamiento. Una de las primeras medidas fue clasificar los residuos de acuerdo a su potencial repercusión en el ambiente y al tratamiento que se les ha de dar tomando en cuenta este último aspecto. En tal clasificación se definen dos tipos de residuos sólidos: los peligrosos y los no peligrosos. Los residuos no peligrosos a su vez se componen por dos grupos: los residuos de manejo especial (RME) y los residuos sólidos urbanos (RSU).

En México, antes de la publicación de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) en octubre de 2003, los RSU se conocían como residuos sólidos municipales. Esta Ley definió a los RSU como: *“Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole”*. Por otro lado, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), instancia encargada de elaborar políticas y estrategias para el control ambiental, así como coordinar programas nacionales de saneamiento ambiental, entre otras actividades, los definió como: *“el conjunto de residuos generados en casas habitación, parques, jardines, vías públicas, oficinas, sitios de reunión, mercados, comercios, bienes inmuebles, demoliciones, construcciones,*

instalaciones, establecimientos de servicios y en general todos aquellos generados en actividades municipales que no requieran técnicas especiales para su control, excepto los peligrosos y potencialmente los peligrosos de hospitales, clínicas y centros de investigación” (SEMARNAT, 2009).

En la Tabla 1.6 se muestran la clasificación de los residuos sólidos y su composición.

Tabla 1.6 Clasificación de los residuos sólidos

Clasificación	División	Definición
Peligrosos	-	Son aquellos en cualquier estado físico que por tener alguna de las propiedades corrosivas, radioactivas, explosivas tóxicas, inflamables o biológico infecciosas (CRETIB), representan un peligro para el equilibrio ecológico o ambiental (SEMARNAT, 2009).
No peligrosos	Residuos de manejo especial (RME)	Son aquellos que provienen de los servicios de salud; de las actividades industriales, agropecuarias, forestales o pesqueras; de los servicios de transporte y terminales ferroviarias, puertos y aeropuertos; del tratamiento de aguas residuales; de las obras de construcción y mantenimiento; de los centros comerciales y tiendas departamentales; y de los que provienen de la industria electrónica o de vehículos automotores (SEMARNAT, 2009).
	Residuos sólidos urbanos (RSU)	Son aquellos materiales, objetos o sustancias derivadas de las actividades domésticas, laborales y comerciales de las regiones urbanas. Los cuales están destinados al desecho, siempre y cuando no estén clasificados como peligrosos o de manejo especial (SEMARNAT, 2009).

Los residuos sólidos urbanos se componen por los siguientes materiales:

- Papel (incluyendo los productos derivados) y cartón: cajas, revistas, tetra pack, periódicos.
- Textiles: ropa
- Plásticos: bolsas, envases de refresco, recipientes de comida rápida, etc.
- Vidrios: envases de cristal, frascos, botellas, etc.
- Metales (ferrosos y no ferrosos): cables, corcholatas, latas de conserva, alfileres, grapas, cacerolas de aluminio.
- Restos orgánicos: desperdicios de origen animal y vegetal (se incluyen los compuestos de madera).

1.3.1 Producción de residuos

La producción de residuos sólidos es la acción de generar residuos a través de procesos productivos o de consumo. En esta época, a nivel mundial se estima que una persona de un país de bajos ingresos genera en promedio 40 g/día de estos residuos, mientras que una de un país de altos ingresos 2 kg/día. Según los datos presentados por la SEMARNAT en el “Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012” (PNPGIR), en el año 2004, la generación estimada de residuos sólidos en el país fue de 94,800 ton/día, lo que equivale a 34.6 millones de toneladas anuales, compuestas aproximadamente en un 53% de residuos orgánicos, 28% de residuos potencialmente reciclables y 19% de residuos no aprovechables. En las Figuras 1.3 y 1.4 se muestran la generación de residuos sólidos urbanos anuales en las cinco entidades federativas con mayor producción y a nivel nacional. Se estima que se recolecta el 87% de los residuos generados, de los cuales el 64% se envía a los 88 rellenos sanitarios y 21 sitios controlados, mientras que el resto se deposita en tiraderos a cielo abierto o en sitios sin control. Actualmente en la Ciudad de México se generan aproximadamente 12,500 ton/día de residuos, lo que significa que cada uno de sus habitantes genera en promedio 1.5 kg/día. En 1950, el promedio de generación por persona en la misma ciudad era de 150 g/día. En la Figura 1.5 se muestra la generación de RSU per cápita a nivel nacional. En contraste con los índices de composición de residuos sólidos a nivel nacional, en donde la materia orgánica constituye poco más de la mitad de los residuos, en esta ciudad se componen en su mayoría de materia inorgánica, específicamente de materiales sintéticos (SEMARNAT, 2009). En la Figura 1.6 se muestra la generación de residuos sólidos urbanos a nivel nacional de acuerdo a su composición. Con “otro tipo de basura” se refiere a residuos finos, pañales, etc.

1.3.2 Tratamiento de los residuos sólidos

El manejo y tratamiento de los residuos sólidos es responsabilidad de todos los integrantes de la sociedad que los generan. Existen distintos procedimientos mecánicos, físicos, químicos, biológicos o térmicos, que se utilizan para cambiar las características de los residuos sólidos, reduciendo su volumen o peligrosidad, buscando la recuperación, reutilización y reincorporación de distintos materiales a procesos productivos y la optimización de los requerimientos para el manejo y disposición final de los que ya no son reutilizables (SEMARNAT, 2009).

A continuación se presentan algunos de los métodos y tecnologías empleados en el tratamiento de residuos sólidos, según su clasificación general acorde a la naturaleza del proceso involucrado o a los propósitos que persigue, mostrada en la Tabla 1.7. Además, se mencionan los rellenos sanitarios y la propuesta de las 3 R's.

Incineración

Es un proceso térmico orientado a la reducción en peso y volumen de los residuos sólidos a través de la combustión controlada de los mismos en presencia de oxígeno. Durante el proceso, los residuos sólidos se transforman en material sólido y en gases que se liberan a la atmósfera. Si dichos gases no se manejan adecuadamente, tienen como consecuencia directa la contaminación del aire en el medio. Los diseños más recientes contemplan la automatización del proceso y la recuperación energética. Se distinguen dos tipos de sistemas de incineración, esto según el tratamiento previo que se da a los residuos. En el primero se hace una eliminación en los residuos sólidos de los elementos que no tienen las propiedades de un combustible, además de que se reducen en tamaño antes de ser incinerados. En el segundo, conocido como incineración en masa, no hay tratamiento previo (SEDESOL, 2001; IIUNAM, 2009).

Aunque es la medida más empleada en los países desarrollados para tratar los residuos sólidos, no se ha consolidado como una opción fuerte y confiable para su implementación a nivel mundial debido al costo de la tecnología necesaria. Se considera prácticamente que los costos de inversión no son recuperables. Tal panorama, hace que los países en desarrollo no puedan utilizar esta forma de tratamiento. Además, aún cuando la reducción en volumen y peso de los residuos lleguen a ser del 90%, se siguen generando emisiones que en la mayoría de las plantas provocan la contaminación del aire (IIUNAM, 2009).

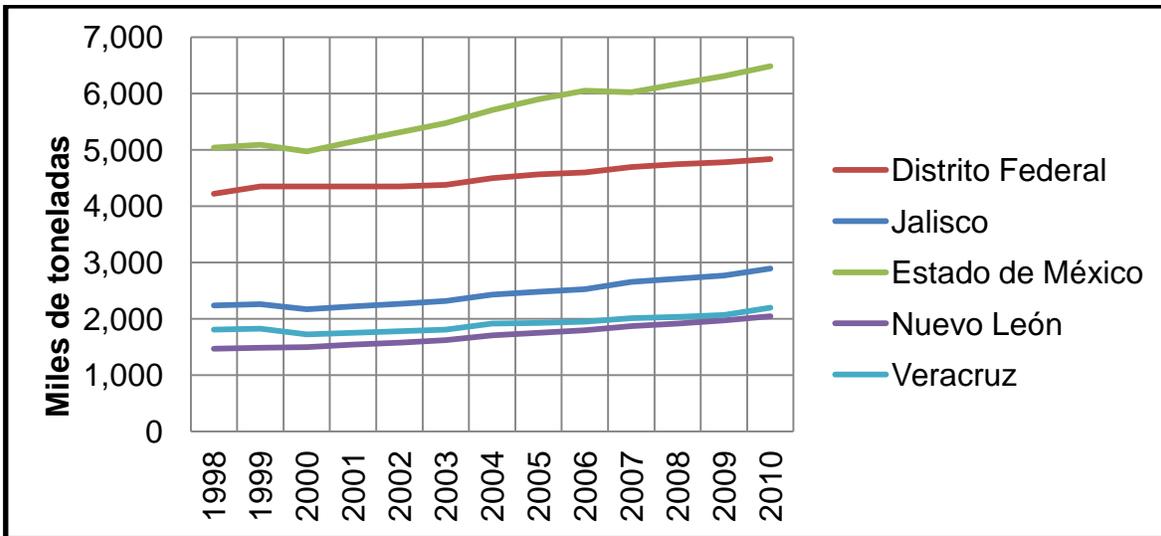


Figura 1.3 Generación de RSU en las cinco entidades federativas en México de mayor producción (SEDESOL, 2011)

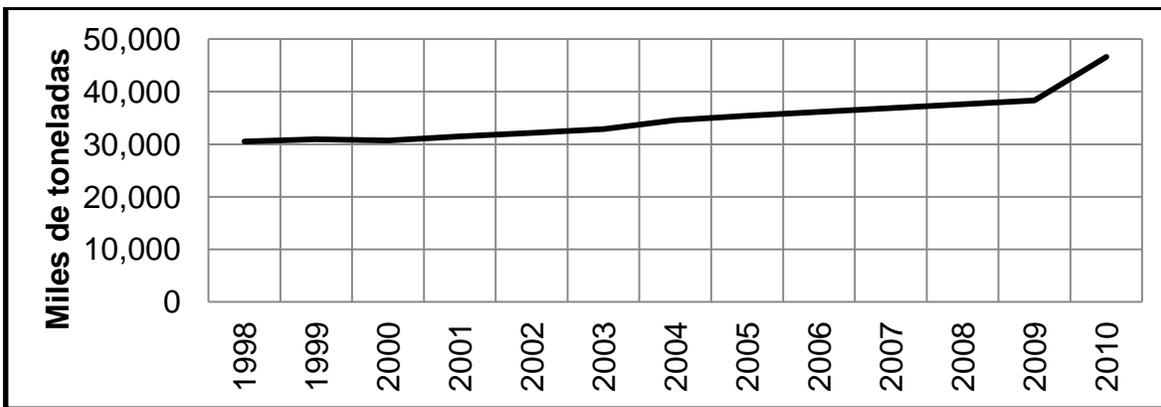


Figura 1.4 Generación de RSU en México (SEDESOL, 2011)

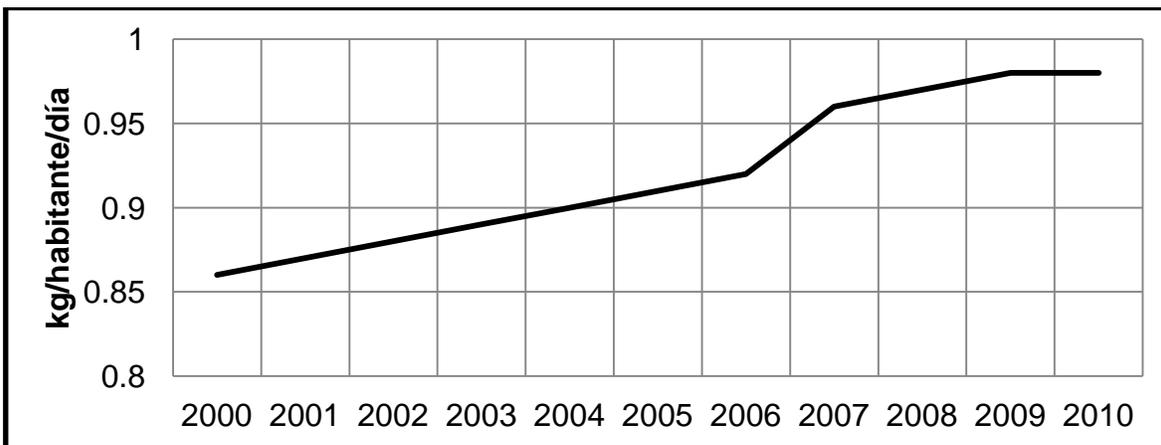


Figura 1.5 Generación de RSU per cápita en México (SEDESOL, 2011)

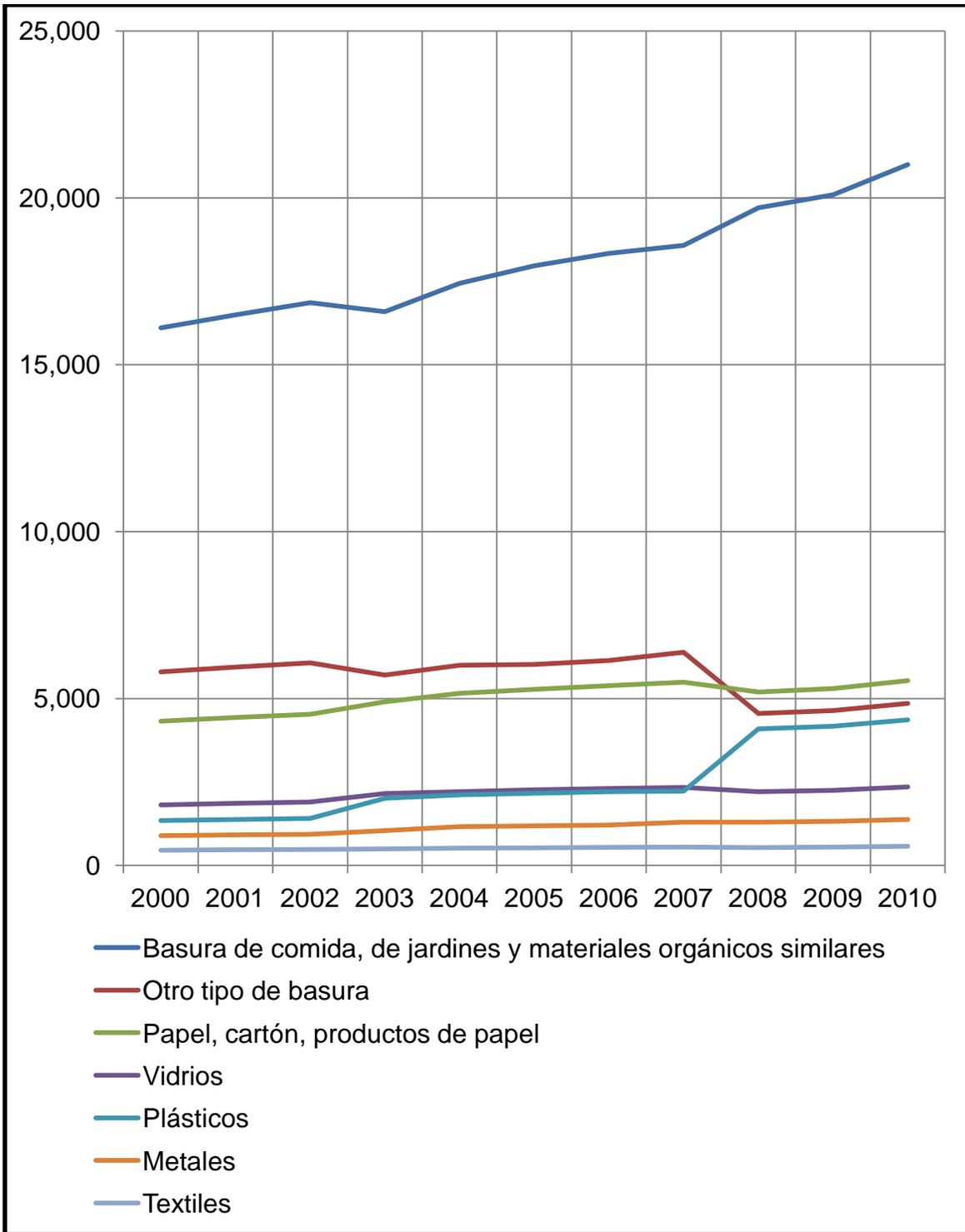


Figura 1.6 Generación de RSU por su composición a nivel nacional (SEDESOL, 2011)

Tabla 1.7 Métodos y tecnologías para el tratamiento de residuos sólidos (IIUNAM, 2009)

De acuerdo al tipo de proceso involucrado	Procesos físicos	Conforme a los procesos de tratamiento	Recuperación de materiales para reutilización o reciclaje
	<ul style="list-style-type: none"> • Separación • Trituración • Separación magnética • Compactación 		<ul style="list-style-type: none"> • Separación • Vitrificación • Compostaje • Pirólisis
	Procesos químicos		Recuperación de energía
	<ul style="list-style-type: none"> • Hidrólisis • Oxidación • Vitrificación • Polimerización 		<ul style="list-style-type: none"> • Degradación anaerobia • Incineración • Pirólisis
	Procesos biológicos		Tratamiento de agentes infecciosos
	<ul style="list-style-type: none"> • Compostaje • Degradación anaerobia 		<ul style="list-style-type: none"> • Incineración • Microondas • Esterilización
Procesos térmicos			
<ul style="list-style-type: none"> • Incineración • Pirólisis • Esterilización • Microondas 			

Pirólisis

Es el proceso fisicoquímico mediante el cual la materia orgánica de los residuos sólidos se descompone por la acción del calor, transformándola en una mezcla líquida de hidrocarburos, gases combustibles y residuos secos de carbón y agua. A diferencia de la incineración, la pirólisis transforma la materia orgánica en un ambiente carente de oxígeno. Su principal objetivo es disponer de los residuos sólidos sanitaria y ecológicamente, disminuyendo su volumen al transformarlos en

materiales sólidos, líquidos y gaseosos con potencial energético o para su uso como materias primas en diversos procesos industriales. Algunos de los productos de alto contenido energético derivados de este proceso y que pueden ser usados como combustible son: el carbón, alquitrán, los gases de hidrógeno, nitrógeno, metano, etano, propano, butano, pentano, amoníaco, oxígeno, monóxido y bióxido de carbono. Algunos de los que se pueden utilizar como materia prima son: aceites ligeros (mezclas de benceno, tolueno, xileno y otros), sales y metales. En Estados Unidos de América, Alemania y Japón, es en donde se han instalado este tipo de plantas. Estas no alcanzan niveles comerciales, es decir, son diseñadas para industrias particulares. Esto se debe a su costo y a que la tecnología para implementarlas está en desarrollo (SEDESOL, 2001).

Compostaje

Este proceso consiste en descomponer o fermentar por acción biológica a los residuos sólidos, aprovechando los microorganismos presentes en ellos (actinomicetos, bacterias y hongos). El producto de esta proceso es un material blando de color café oscuro parecido a la tierra de hoja conocido como compost, humus o abono. Este material tiene propiedades que mejoran la estructura y textura de los suelos en los que se aplica. En ocasiones funciona también como fertilizante vegetal. Su uso es globalizado y se puede ocupar desde un nivel doméstico hasta uno industrial. Las primeras plantas de compostaje a partir de RSU se construyeron entre los años 1925 y 1930 en la India y Holanda. Actualmente, los países que más usan esta tecnología son España, Francia y Suecia (IIUNAM, 2009). Los residuos que son más factibles para ser tratados son el estiércol, los residuos vegetales y los desechos de comida. En la actualidad se utilizan distintos métodos de producir compost, los más comunes se describirán más adelante. En general, la obtención de abono tras este proceso oscila entre el 35 y el 40% de los residuos tratados originalmente, independientemente del método utilizado (SEDESOL, 2001).

Rellenos sanitarios

Se trata de terrenos modificados y adaptados destinados al depósito de residuos sólidos. Estos son compactados con el fin de ocupar la menor área posible. Al final de cada jornada son cubiertos con capas de tierra. Sus objetivos principales son: que entre el ambiente y los residuos sólidos exista una barrera; que las emisiones de gas se reduzcan y que sean controladas; y que se eviten las infiltraciones o fugas de los líquidos lixiviados producidos durante la descomposición de los residuos. Dichos líquidos contienen una combinación de microorganismos y sustancias tóxicas. Los rellenos sanitarios no provocan daños al ambiente ni representan un peligro para la salud o la seguridad pública (SEDESOL, 2001;

SEMARNAT, 2009). Recientemente su implementación ha adquirido gran importancia al ser una opción muy viable, técnica y económicamente hablando, para la disposición final de los residuos sólidos ya que también son fuentes de energía. Ejemplo de ello es la planta BENLESA de Monterrey descrita anteriormente.

Países en desarrollo y desarrollados han instalado rellenos sanitarios gracias a que son una medida económicamente costeable y que no demanda de tecnología muy sofisticada para su operación. Son una alternativa para la producción de biogás, aparte de la del uso de reactores. En la Figura 1.7 se muestra la cantidad de RSU dispuestos en rellenos sanitarios, en rellenos de tierra controlados y a cielo abierto (sitios no controlados), con respecto al total generados. Los rellenos de tierra controlados son sitios inadecuados de disposición final que cumplen con las especificaciones de un relleno sanitario en lo que se refiere a obras de infraestructura y operación, pero no cumplen con las especificaciones de impermeabilización (DOF, 2004).

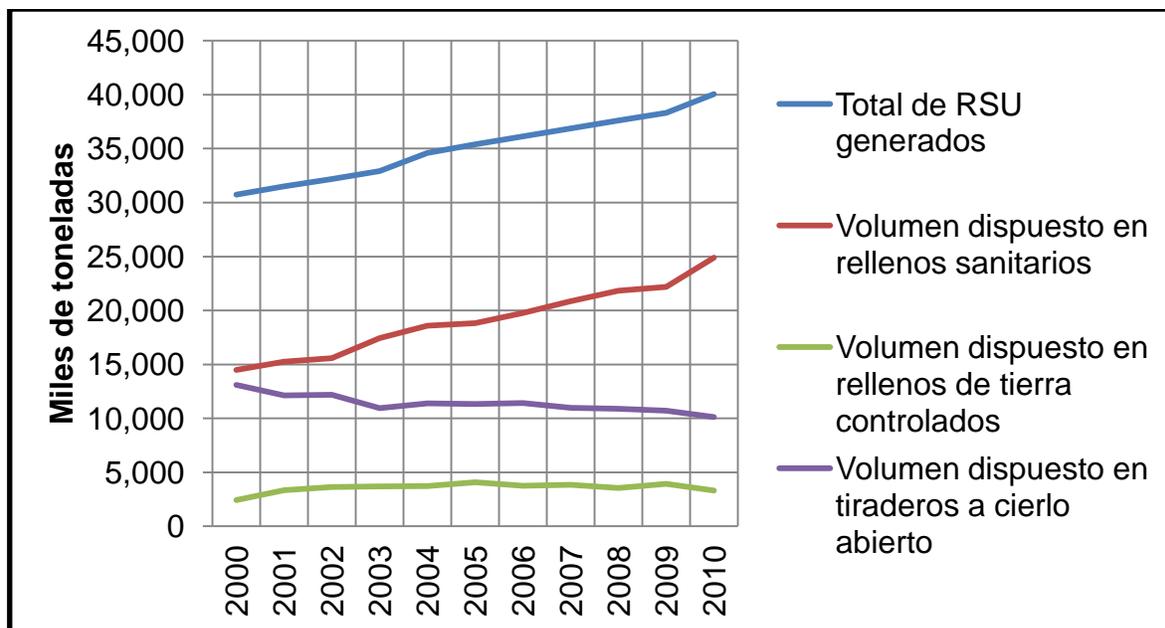


Figura 1.7 Cantidad de RSU dispuestos en rellenos sanitarios, de tierra y sitios no controlados en México (DOF, 2004)

Degradación anaerobia

La degradación anaerobia es un proceso biológico complejo, que consiste en la descomposición de materia orgánica con contenido fermentable mediante una serie de reacciones químicas producto de la acción de ciertas bacterias, en un medio en el que no hay presencia de oxígeno. A lo largo del proceso, más del 90% de energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, mientras que

el 10% restante se consume en el crecimiento bacteriano (Varnero, 2011). Estas características permiten su uso para transformar residuos ganaderos, agrícolas, así como efluentes con alta carga orgánica (aguas residuales) de industrias alimentarias, fermentativas, papeleras y de algunas químicas, en biogás y compost. La materia orgánica puede degradarse de manera independiente o en conjunto. Cuando esto ocurre se habla de codigestión. Esta se recomienda cuando un residuo compensa las carencias de otro para que la degradación se pueda llevar a cabo o sea más eficiente. Ejemplo de ello es la mezcla de residuos sólidos urbanos con lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que éstos cubren la deficiencia de nutrientes de los primeros (Chamy y col., 2002). En la Tabla 1.8 se muestran las ventajas y desventajas de la degradación anaerobia como método de tratamiento de residuos sólidos urbanos.

Tabla 1.8 Ventajas y desventajas de la degradación anaerobia (IIUNAM, 2009)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> – Es un proceso natural para el tratamiento de residuos orgánicos. – Requiere menos espacio que el relleno sanitario o compostaje. – Reduce el volumen de residuos que deben eliminarse. – Es una fuente de energía renovable. – Produce un combustible de alta calidad y ecológicamente correcto (combustión de metano produce sólo agua y dióxido de carbono, no genera gases tóxicos). – Maximiza los beneficios del reciclaje/reutilización de la materia orgánica. – Produce como residuo abono, rico en nutrientes y libre de microorganismos patógenos. – Reduce significativamente la cantidad de emisión de dióxido de carbono y metano, gases que causan el efecto invernadero. 	<ul style="list-style-type: none"> – Hay que buscar en donde depositar los lodos. – Requiere una supervisión muy continua y precisa. – El metano es explosivo al mezclarse con aire en una proporción que va del 5% al 15%, aproximadamente. – De acuerdo al objetivo de la producción se puede requerir de un medio de almacenamiento muy seguro y costoso. – Se requieren ciertas precauciones de manejo. – El proceso es sensible a la temperatura, pH, velocidad de carga y cambio del tipo de carga. – El proceso de degradación anaerobia no genera calor.

Las 3R's

Es una estrategia dirigida a los productores de residuos, principalmente de las grandes ciudades, que busca generar conciencia del impacto ambiental destructivo que sus costumbres ocasionan. Estas son:

- **Reciclar:** consiste en la separación y agrupación de la basura en sus distintos tipos de componentes para que su tratamiento se facilite.
- **Reducir:** se refiere a prevenir la generación de residuos mediante acciones personales como el consumo moderado y reflexionado.
- **Reutilizar:** implica darle el máximo uso posible a un objeto para evitar su destrucción o desecho. El uso de las cosas puede extenderse aún cuando su funcionalidad cambie, es decir, si ya no sirve para realizar la tarea para la que fue diseñado, quizá pueda ser empleada para llevar a cabo nuevas tareas en su nuevo estado.

Por último, en la Tabla 1.9 se muestra el uso de los distintos métodos y tecnologías para el tratamiento de los RSU a nivel mundial. La Tabla 1.10 señala los medios empleados por los mismos para la disposición final.

Tabla 1.9 Uso de distintos métodos y tecnologías para el tratamiento de RSU a nivel mundial (IIUNAM, 2009)

Método y tecnología	Continente				
	América	Europa	Asia	Oceanía	África
Compostaje	45%	84%	70%	10%	28%
Vermicompostaje	6.4%	~4%	NE	NE	NE
Incineración	64%	88%	85%	30%	21%
Digestión anaerobia	3%	8%	50%	10%	56%
Reciclaje	61.2%	44%	35%	60%	18%
Pirólisis	NE	8%	NE	NE	NE
Gasificación	NE	8%	NE	NE	NE

NE= No especificado

Tabla 1.10 Uso de medios empleados a nivel mundial para la disposición de RSU (IIUNAM, 2009)

Disposición final	Continente				
	América	Europa	Asia	Oceanía	África
Rellenos sanitarios	68%	98%	90%	40%	54%
Tiradero abierto	26%	0%	60%	10%	33%
Vertederos	13%	2%	5%	60%	21%

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS

2.1 SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN

Monitorizar es observar el estado de un proceso y su desenvolvimiento. Según las características del proceso y de la naturaleza de sus parámetros de operación, en ocasiones, dicha observación es necesario hacerla por medio de equipos electrónicos especiales. En estos casos, para llevar a cabo la monitorización se recomienda (Olsson, 1999):

- Empezar con la validación de la información medida
- Conocer los límites de amplitud de las señales y sus razones de cambio
- Identificar los valores atípicos en el comportamiento de los parámetros
- Si se espera que una señal sea constante se analiza las variaciones que se presenten
- Ubicar cualquier pérdida de información
- Considerar la probable contaminación de las señales con ruido proveniente de los equipos instalados.

La detección temprana y aislamiento de las fallas en un proceso permiten tomar decisiones y acciones correctivas antes de que una situación se torne desfavorable o crítica. Algunos cambios en ciertos parámetros de operación no son muy notorios y pueden crecer gradualmente hasta convertirse en serios problemas. La finalidad de la monitorización es lograr una operación confiable. Basada en la capacidad de las computadoras para extraer información valiosa y patrones de comportamiento, la utilidad de la monitorización no se reduce a graficar, sino que puede generar y almacenar un conocimiento (Olsson, 1999).

Los sistemas de monitorización son sistemas de comunicaciones electrónicas, con equipos transmisores y receptores. Están compuestos por transductores, un equipo de comunicación y una terminal que despliega la información al usuario final. En la Figura 2.1 se muestra el diagrama de bloques de un sistema de comunicación electrónica unidireccional.

Los transductores se colocan en puntos adecuados para realizar la medición de parámetros de interés y enviarla al dispositivo de comunicación el cual recibe, almacena, analiza la información y la presenta al usuario final, por medio de una terminal. En este proceso se pueden identificar un conjunto de equipos conectados entre sí, en donde uno, el central, recibe o tiene acceso a la información generada por el resto y la muestra al usuario final. En la Figura 2.2 se ejemplifica la composición de un sistema de monitorización.

En los sistemas de monitorización que utilizan equipo electrónico para realizar las mediciones de los parámetros de interés se pueden identificar las siguientes cuatro etapas (NI, 2012):

- **Medición:** se realiza mediante transductores o sensores en contacto directo con las variables a medir. Las variaciones físicas que miden las convierten en señales eléctricas.
- **Adquisición:** es la recepción de las señales generadas por los transductores o sensores instalados. Generalmente los sistemas de adquisición son analógico-digitales.
- **Procesamiento:** consiste en dar el tratamiento adecuado a las señales adquiridas para enviarlas a la terminal de despliegue de la información. Como estos equipos suelen ser de cómputo, el tratamiento consiste en convertir variaciones de voltaje en valores numéricos digitales. Estos valores se transforman a su vez para su fácil lectura e interpretación por parte del usuario final.
- **Despliegue:** mediante una interfaz máquina-humano se muestra al usuario final la información recolectada. Las interfaces suelen componerse de gráficas, iconos virtuales del equipo instalado, indicadores numéricos, etc.

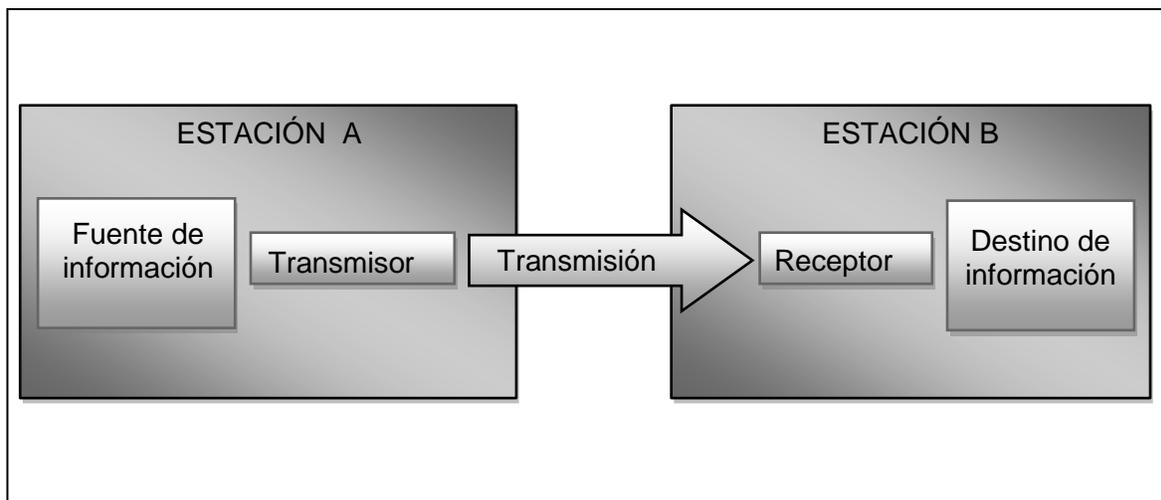


Figura 2.1 Diagrama de bloques de un sistema de comunicación electrónica unidireccional

2.1.1 Sistemas de monitorización remota

El seguimiento de un proceso se podría hacer de manera presencial, cuando las terminales en donde se despliega la información y los usuarios finales se encuentran en el lugar en que éste se lleva a cabo. Los sistemas de monitorización remota, permiten hacer dicho seguimiento a los usuarios finales aún cuando se encuentren en otro lugar. Este tipo de sistemas comunican al

equipo central de monitorización con otro de ubicación distinta, el cual recibe la información y puede darle el tratamiento necesario, según los fines buscados. En la Figura 2.3 se muestra una representación gráfica de los sistemas de monitorización remota.

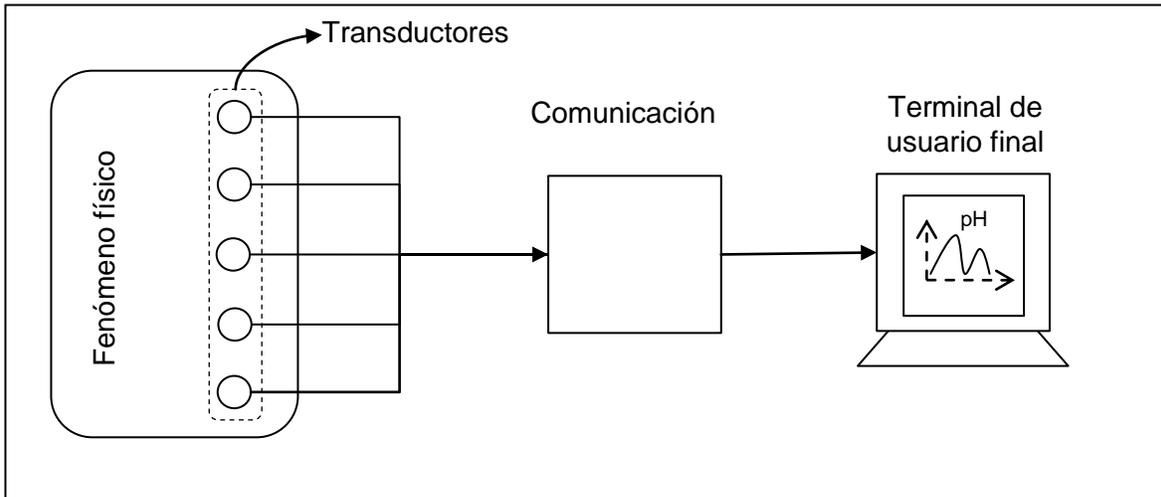


Figura 2.2 Composición de un sistema de monitorización

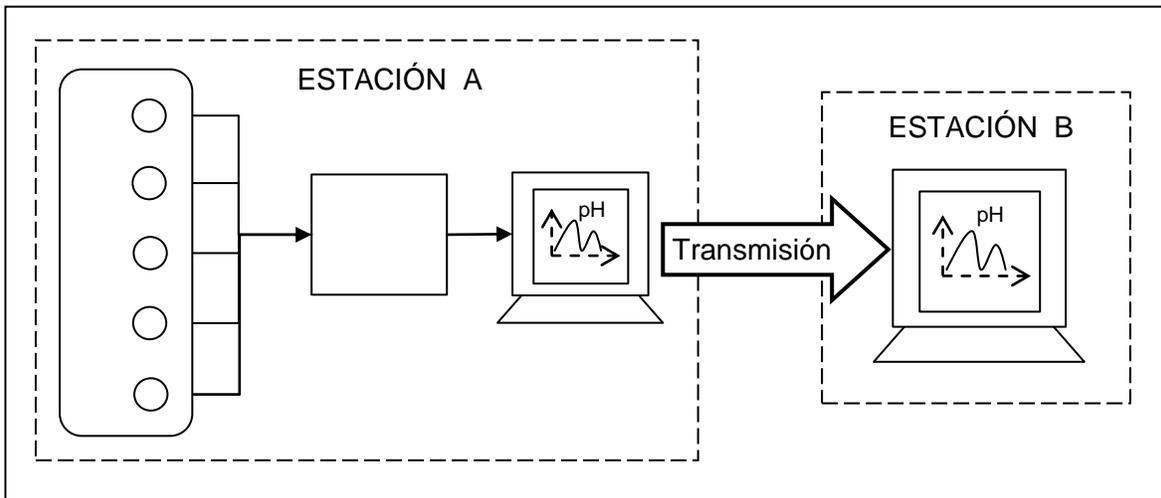


Figura 2.3 Representación gráfica de los sistemas de monitorización remota

Como se puede observar en la Figura 2.2 en comparación con la 2.3, este tipo de sistemas agregan una etapa a las identificadas en los sistemas de monitorización ubicados en el mismo sitio en el que se lleva a cabo el proceso de interés. Esta etapa es la de transmisión de la información.

Transmisión

En los sistemas de comunicaciones electrónicas, el envío y recepción de la información se hace por distintos medios de transmisión como cables, fibra óptica y el aire, entre otros. Cuando se utilizan los dos primeros, basta con que se conecten físicamente transmisor y receptor para establecer la comunicación. En el caso del aire, la información se puede transmitir por medio de redes inalámbricas. En la monitorización remota, uno de los medios más recurridos para hacer la transmisión de información de un punto a otro es Internet.

Un concepto que se puede asociar a la monitorización remota por su funcionamiento y objetivo es el de *telemetría*. Etimológicamente viene del griego *tele* que significa distancia y *metron* que significa medida. Es una tecnología que enfoca su estudio a la medición remota de magnitudes físicas y al envío de la información obtenida a un operador.

2.1.2 Sistemas de monitorización y control en tiempo real

Un sistema de monitorización en tiempo real es aquél que ante una señal de entrada, genera una respuesta de salida antes de que haya una nueva señal de entrada. Cualquier sistema está expuesto a perturbaciones que pueden causar desajustes y mal funcionamiento en su operación. El control se utiliza para operar de manera correcta y alcanzar el objetivo deseado en un sistema, a pesar de tales perturbaciones. Los sistemas de monitorización y control en tiempo real se han desarrollado para tener una continua comunicación con la finalidad de optimizar, vigilar y, de ser requerido, modificar ciertos parámetros del funcionamiento de algún proceso. Esta última tarea se lleva mediante la manipulación de equipos conocidos como actuadores. Ejemplos de éstos son: bombas, válvulas y mezcladores, entre otros. En la actualidad se reconocen dos tipos de estos sistemas: los SCADA y los DCS.

a) SCADA

SCADA corresponde a las siglas de Supervisory Control and Data Acquisition que, en una traducción aproximada al español es: “Control de Supervisión y Adquisición de Datos”. Se define como el conjunto de redes, equipos y programas que monitorizan en tiempo real procedimientos industriales y tareas complejas, a partir de la información obtenida a través de equipo de medición electrónica y pudiendo controlar el proceso de forma automática mediante un programa de cómputo especializado, de manera centralizada (INTECO, 2012).

b) DCS

DCS son las siglas en inglés para Distributed Control System que en español se traduce como: “Sistema de Control Distribuido”. Al igual que los SCADA, son sistemas de monitorización y control en tiempo real orientados a procesos industriales. La principal diferencia radica en que, en este caso, el control está repartido geográficamente, ubicándose en diferentes instalaciones en donde se encuentran desplegados los elementos controlados. Es decir, un DCS se puede considerar como un conjunto de sistemas SCADA locales, que conforman un sistema de monitorización sin ningún puesto de control central (INTECO, 2012).

Este tipo de sistemas deben de satisfacer tres necesidades fundamentales al ser sistemas de información (INTECO, 2012):

- Confidencialidad: la información debe de ser accedida sólo por las personas autorizadas.
- Integridad: la información no debe de estar alterada ni manipulada
- Disponibilidad: el sistema debe de mantenerse en funcionamiento durante el tiempo necesario y para el que ha sido diseñado, con el fin de proporcionar la información en el momento en que sea requerida.

2.2 TECNOLOGÍAS

De acuerdo a la finalidad y a la composición de un sistema de monitorización remota, existen diferentes herramientas tecnológicas que se pueden reunir para diseñar y construir uno específico para un determinado proceso. Según la naturaleza de dichas herramientas, éstas se clasifican en *hardware* y *software*. Como hardware se conoce a los dispositivos que forman parte de un sistema global y que se constituyen físicamente, es decir, son tangibles. Como software se conoce a la parte de un sistema compuesto por programas e información digital con la que operan los equipos de cómputo. En un sistema de monitorización remota, la parte correspondiente al hardware contempla al equipo involucrado en la medición de los parámetros físicos, la adquisición y acondicionamiento de señales, el almacenamiento del software e información recolectada y la terminal de usuario final. Por su parte, el software se encarga del manejo, administración y despliegue de la información recibida al usuario final. El correcto funcionamiento de un sistema global depende estrictamente de la correcta interacción entre los equipos que conforman el hardware y el software. Este debe ser capaz de leer y escribir sobre el sistema al cual se conecta utilizando una Interfaz de Programación de Aplicaciones (IPA) permitiendo al usuario utilizar dicha aplicación por medio de hardware.

En seguida se describen las herramientas tecnológicas actuales que se pueden utilizar para formar un sistema de monitorización remota, de acuerdo a la clasificación ya mencionada.

2.2.1 Hardware

a) Transductores y sensores

Miden fenómenos físicos como temperatura, presión, intensidad de luz, etc. Las mediciones son señales eléctricas cuya salida, dependiendo del tipo de sensor o transductor del que se trate, puede ser un voltaje, resistencia, corriente o algún otro parámetro eléctrico que varíe con el tiempo. Algunos de estos instrumentos requieren una adecuación en las señales que generan para que puedan ser leídas con precisión por el equipo de adquisición (NI, 2012).

b) Dispositivos de adquisición

Un dispositivo para la adquisición de datos actúa como una interfaz entre un equipo de cómputo y las señales medidas en campo. Su función es digitalizar las señales analógicas recibidas para que puedan ser interpretadas por una computadora. Constan de dos partes esenciales:

- Un convertidor analógico digital (A/D): interpreta digitalmente una señal analógica en un instante de tiempo, mediante “muestras” tomadas a una razón determinada. Dichas muestras se envían a equipo de cómputo a través del bus (NI, 2012).
- Un bus para el equipo de cómputo: los equipos de adquisición se conectan a los de cómputo a través de puertos. El bus es la interfaz de comunicación entre los dispositivos de adquisición y los equipos de cómputo, por la cual se transmiten las instrucciones y los datos medidos. Los más comunes son USB, PCI, PCI-E y Ethernet. Todos los buses tienen una cantidad límite de información que puede ser transferida en un periodo de tiempo. Se le conoce como ancho de banda y está dada en megabytes por segundo (MB/s) (NI, 2012).

Algunos cuentan con convertidores digitales analógicos para enviar señales desde la computadora al sistema o proceso en el que se realizan las mediciones.

Una tarjeta de adquisición de propósito general puede medir o generar señales entre los ± 5 V o ± 10 V. Algunos sensores pueden producir señales que sean difíciles de medir o que resulten peligrosas para la tarjeta. Por esto, en ocasiones es necesario implementar un circuito acondicionador de señales. El circuito acondicionador manipula las señales para que puedan ser leídas y procesadas en

el convertidor analógico digital. El acondicionamiento puede incluir amplificación, atenuación, filtrado y asilamiento (NI, 2010).

La razón de muestreo, la resolución y la precisión son los tres parámetros esenciales en una tarjeta de adquisición. La razón de muestreo es la velocidad a la que el convertidor A/D toma muestras de una señal. Esta depende de la componente de máxima frecuencia en la señal que se desea medir. La resolución hace referencia al número de niveles binarios (razón por la que se expresa en bits) que el mismo convertidor utiliza para reconstruir la señal medida. La resolución está determinada por el mínimo rango de variación que se desea detectar al medir una señal. Entre mayor número de bits tenga la resolución, detectará cambios más pequeños en la señal. La precisión es una medida de la capacidad que tiene un instrumento para indicar fielmente el valor de una señal medida. Depende de la resolución y razón de muestreo para dar una certidumbre total, además de factores como el ruido.

c) PLC

Los *Controladores de Lógica Programable* (PLC: Programmable Logic Controller) son computadoras diseñadas para actuar en sistemas de automatización electromecánicos, comúnmente usados en industrias que ocupan maquinaria pesada, por ejemplo, ensamble automotriz y fábricas de alimentos (Bliesener y col., 1995). Se programan para que haga tareas determinadas según condiciones dadas, siguiendo una lógica de operación. Cuenta con entradas y salidas que pueden ser de carácter analógico y/o digital. Su estructura básica consta de 3 partes fundamentales.

- CPU: dirige todas las acciones del PLC. Recibe información de sensores, ejecuta el programa cargado e informa a los dispositivos de salida el resultado. Tanto la medición electrónica como los resultados se ejecutan continua y periódicamente (Bliesener y col., 1995).
- Memoria: almacena y ejecuta la secuencia de operaciones que permite el accionamiento de los elementos del proceso controlado (Bliesener y col., 1995).
- Unidad de entradas y salidas: están físicamente conectadas a los sensores y actuadores que se usan en el control de una máquina o proceso. Son una interfaz entre el CPU, los sensores y actuadores (Bliesener y col., 1995).

El aspecto físico externo de un PLC es muy variado y en parte condicionado por el mercado de origen (americano o europeo). Por lo general, puede ser de dos tipos:

- Estructura compacta: todos los elementos están contenidos en una sola unidad pero con la posibilidad de ser expansibles mediante módulos o unidades compactas adicionales (Bliesener y col., 1995).
- Estructura modular: el PLC se encuentra dividido en módulos que realizan funciones específicas. Si cada elemento del PLC está contenido en un módulo individual se tiene una estructura europea. Si el módulo de las unidades de E/S está separado de un módulo principal que contiene el resto de los componentes, se habla de una estructura americana (Bliesener y col., 1995).

A lo largo de la historia de los PLC se ha tratado de estandarizar la forma en que estos se programan, debido a que cada compañía que los fabricaba proporcionaba a los usuarios un software de programación. Sin embargo, fueron los mismos usuarios (a nivel industrial o no) quienes sugirieron unificación y compatibilidad entre los equipos de distintas marcas. Fue así como se establecieron tres formas de programarlos (Bliesener y col., 1995):

- Diagrama de escalera: son diagramas con estructuras diseñadas para tomar decisiones lógicas con base en el estado de variables que el usuario determina.
- Lista de instrucciones: es un código de programación basado en instrucciones ya establecidas que indican las acciones a realizar y la secuencia en que se deben de llevar a cabo.
- Diagrama de bloques: se basa en la conexión lógica de bloques con funciones predeterminadas.

d) Equipo de cómputo

Según la Real Academia de la Lengua Española, un equipo de cómputo es *“una máquina electrónica dotada de una memoria de gran capacidad y de métodos de tratamiento de la información, capaz de resolver problemas aritméticos y lógicos gracias a la utilización automática de programas registrados en ella”*. Todas las computadoras tienen tres parámetros principales de los que depende el poder de procesamiento, es decir, la capacidad en el manejo de la información: la velocidad del procesador, el tamaño de la memoria RAM y la capacidad de almacenamiento del disco duro. El procesador es la parte de la computadora que interpreta y ejecuta instrucciones. Entre más rápido es un procesador más rápido se realizan las operaciones dictadas por un programa. La cantidad de RAM repercute en la velocidad de procesamiento y en la capacidad para que varias aplicaciones corran

al mismo tiempo. La capacidad del disco duro determina la cantidad de información que puede ser almacenada en él.

Los equipos de cómputo en un sistema de monitorización sirven para albergar el software con que se administra la operación del dispositivo de adquisición y procesar, almacenar y desplegar al usuario la información medida. La modularidad, portabilidad y robustez de una computadora son parámetros que dependen de las condiciones del medio en el que se realizan las mediciones. Según estos, la computadora puede ser de escritorio, una laptop o una industrial. En la Tabla 2.1 se muestran los distintos tipos de computadora que pueden utilizarse en los sistemas de monitorización. La portabilidad es la facilidad con que un dispositivo puede ser trasladado entre varios puntos en los que su uso sea necesario, por lo que, el tamaño y el peso son los factores que determinan que tan portable es una computadora. La robustez indica el grado de resistencia a ambientes agresivos de operación, ya sean ambientales o humanos. La modularidad describe el grado en el que los componentes de un sistema pueden ser separados o recombinados. Un alto grado de modularidad permite: modificar y adaptar un sistema para atender necesidades particulares; y la facilidad de integrar nuevos componentes si se requiere (NI, 2012).

2.2.2 Software

Es la parte lógica que coordina al conjunto de elementos electrónicos de un equipo de cómputo y a su funcionamiento. Se puede clasificar en dos tipos:

- Software básico o sistema operativo (SO): es un conjunto de programas básicos que permiten al usuario el manejo de la computadora, es decir, ejecutar programas de aplicación y controlar los dispositivos o periféricos conectados a ella. Se encarga de la gestión del procesador, de la memoria principal y de los puertos de entrada y salida. Los sistemas operativos más comunes son Windows, iOS, Linux, Android y UNIX. Todos tienen una interfaz alfanumérica o gráfica para su operación (Quero, 2002).
- Software de aplicación: es un conjunto de programas y de datos que auxilian al usuario a desarrollar tareas concretas en la computadora, por ejemplo, programas procesadores de texto, hojas de cálculo, edición de imágenes, etc. Puede ser una aplicación pre-construida o un entorno de programación para construir tareas específicas con funciones personalizadas (Quero, 2002).

El desarrollo de software consiste en la construcción de un programa o aplicación que resuelva cierta tarea. Se le llama programa a la secuencia de instrucciones que indica las operaciones necesarias que deben de ser ejecutadas por la

computadora para resolver algún problema, escritas en un lenguaje de programación (Jordá y col., 1998).

Tabla 2.1 Tipos de computadoras (NI, 2012)

Tipo de computadora	Descripción
Sistema PXI	Son computadoras modulares y robustas diseñadas para sistemas de medición y automatización. Se constituyen por un controlador, cobertura rígida y módulos de instrumentación. El controlador cumple la función de una computadora al ejecutar el sistema operativo. Contiene un procesador, una memoria RAM y un disco duro entre otras cosas. En la cobertura hay espacios en los que se conectan los módulos de instrumentación.
Computadora de escritorio	Constan de un monitor, un teclado, un mouse y un CPU. Debido a su composición de destinan para trabajar en un solo lugar. Se utilizan regularmente en oficinas, laboratorios y en cualquier lugar en los que las condiciones ambientales y de trabajo no sean extremas.
Industrial	Son computadoras diseñadas para su desempeño en ambientes agresivos, es decir, con cambios drásticos de temperatura, humedad, variaciones de voltaje, etc.
Laptop	Todas las partes que integran a una computadora están reunidas en una sola estructura.
Netbook	Son computadoras con construcción similar al de las laptops de dimensiones y peso reducidas.

Lenguajes y entornos de programación

Los lenguajes de programación son conjuntos de reglas, símbolos y palabras especiales para construir un programa. Se clasifican comúnmente según la proximidad a la que estén del entendimiento por parte de la máquina o del hombre.

- Lenguaje máquina: se le conoce también como código máquina o lenguaje o código binario. La computadora entiende directamente este tipo de lenguaje ya que las instrucciones son cadenas binarias que especifican las direcciones de memoria y la operación a realizar (Louden, 2004).
- Lenguaje de bajo nivel o ensamblador: las instrucciones son mnemotécnicas y varían según el modelo de procesador que se utilice. Para que la computadora pueda ejecutarlo requiere de una etapa de traducción a lenguaje máquina. Al programa original, escrito en ensamblador, se le llama programa fuente y al traducido programa objeto (Louden, 2004). Los microprocesadores, microcontroladores, PIC's y demás circuitos integrados digitales suelen programarse en este lenguaje.
- Lenguaje de alto nivel: están diseñados para que las personas programen y entiendan de manera casi directa los programas escritos. Es por esto que las instrucciones en estos lenguajes se basan en reglas sintácticas similares a las de los humanos. Sin embargo, su uso impide un aprovechamiento óptimo de los recursos internos de la máquina y, tanto el tiempo de ejecución como la ocupación de la memoria, son mayores en comparación con los otros lenguajes (Louden, 2004). Algunos lenguajes de alto nivel son: C, JAVA, PASCAL, BASIC, FORTRAN y COBOL, entre muchos otros.

Además del lenguaje de programación, para construir un programa son necesarios otros programas como editores, compiladores, enlazadores, depuradores, bibliotecas, etc. Al conjunto de éstos se les llama entornos de programación. Ejemplos de ellos son Microsoft Visual C++ y Turbo C++ (Jordá y col., 1998).

CAPÍTULO 3. SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN PARA PLANTAS DE BIOGÁS

En este capítulo se muestran la importancia y las ventajas que tiene la monitorización de los principales parámetros de monitorización en una planta de biogás. Se estudian la construcción y operación de dos sistemas implementados en plantas industriales en México y se presentan las opciones en el mercado para llevar a cabo la monitorización.

3.1 PARÁMETROS DE MONITORIZACIÓN Y CONTROL EN UNA PLANTA DE BIOGÁS

Debido a los diversos usos que se pueden dar al biogás y a las ventajas ambientales que presenta, durante los últimos años se impulsó la construcción e instalación de plantas para su obtención mediante la degradación anaerobia. Sin embargo, la promoción de estas no incluyó la divulgación de los parámetros que interfieren en el proceso y que lo hacen eficaz. Esto provocó que surgieran diferentes tecnologías y procedimientos para producir metano a partir de residuos, de los cuales, algunos resultaron muy poco o nulamente eficaces. Diversas son las experiencias equívocas que se acumulan al operar diversas plantas de biogás y que contribuyen a formar un conocimiento particular para tener control sobre el proceso. Las consecuencias se reflejan en las pérdidas económicas y energéticas (Luostarinen y col, 2011).

Para que una planta de biogás sea eficaz se tiene que analizar si los objetivos asociados a la producción y uso de este biocombustible se logran. Según lo visto en el capítulo anterior, dichos objetivos se basan en la disminución de gases contaminantes mediante el manejo de distintos desechos, al mismo tiempo que se tiene un aprovechamiento energético y un desarrollo económico sustentable. Para que lo anterior pueda cumplirse, es necesario que el biogás producido sea de calidad, lo que implica un control y análisis del proceso y de los factores que influyen en su desempeño. De manera general, se puede decir que el proceso llevado a cabo en las plantas consta de las siguientes etapas (Bidlingmaier, 2009):

- Acopio y provisión del sustrato
- Producción del biogás mediante degradación anaerobia
- Uso del biogás
- Disposición del efluente.

Dentro de cada una de estas etapas se pueden distinguir parámetros que hacen que el proceso sea eficaz parcial y globalmente. Es así como la monitorización de

estos se vuelve necesaria e indispensable. A través de ella, los operadores de las plantas de biogás pueden tener una idea más clara del comportamiento y estado de dichos parámetros en cada una de las etapas en el proceso de producción, así como un mejor control del mismo, con la finalidad de que el producto obtenido sea de calidad. La información colectada al monitorizar sirve para los siguientes puntos (Wiese y Köning, 2007; Bidlingmaier, 2009; Clemens, 2009):

- Tener una idea más clara del comportamiento y estado de dichos parámetros en cada una de las etapas en el proceso de producción, así como un mejor control del mismo a los operadores de las plantas.
- Optimizar y garantizar la operación para lograr los resultados esperados económica y ambientalmente.
- Evaluar la calidad de los residuos tratados.
- Conocer la cantidad de materia que se produce y que se pierde en el proceso.
- Cuidar y asegurar que las condiciones en las que se está operando son las necesarias para que el proceso sea eficaz.
- Medir y controlar las emisiones de gas al medio.
- Conocer los componentes del biogás producido.
- Identificar situaciones de riesgo (fugas, explosión o incendios).
- Garantizar condiciones de operación seguras en cuanto a salud, impacto ambiental e instalaciones de la planta.
- Realizar diagnósticos detallados que se utilizan como referencia para el análisis de la producción presente o de procesamientos futuros.

No todos los parámetros son monitorizados de la misma manera debido a las características propias de cada uno. Algunos parámetros es necesario medirlos con equipo electrónico, lo que demanda un tratamiento de señales, mientras que otros pueden medirse con herramientas comunes y registrar su estado sencillamente. De hecho, se asegura que la tecnología para medir electrónicamente algunos de ellos durante la degradación anaerobia, es la parte menos desarrollada y débil en el proceso de monitorización (Olsson, 1999). De acuerdo a esto se pueden distinguir dos tipos de parámetros:

a) Técnicos

Sirven para realizar cálculos y balances energéticos. Regularmente, los resultados obtenidos se utilizan para analizar impactos ambientales y económicos. Se refieren a los aspectos logísticos y a la operación de la planta de forma global (Luostarinen y col, 2011; Varnero, 2011):

- Cantidad de sustrato empleado en un ciclo,

- Consumo energético,
- Distancias para transportar el sustrato y el efluente,
- Producción y calidad del biogás y
- Reducción de gases

b) Físicos y químicos

Están relacionados con la degradación anaerobia (Wiese y Köning, 2007; Luostarinen y col, 2011; Varnero, 2011):

- Ácidos grasos/ ácidos grasos volátiles,
- Alcalinidad
- Concentración de gases (CH₄, CO₂, H₂, H₂S, etc.)
- Conductividad
- Nivel de sólidos totales y volátiles
- pH
- Potencial redox
- Presión, poder calorífico y densidad del biogás,
- Temperatura
- Tiempo de retención hidráulica y velocidad de carga orgánica y
- Tipo de materia orgánica.

Los parámetros físicos y químicos influyen en la calidad del biogás producido. Algunos de ellos requieren de sistemas electrónicos para su monitorización. En seguida, se hace una descripción de la importancia de cada uno de ellos.

3.1.1 Parámetros físicos de monitorización y control en una planta de biogás

1) Presión, poder calorífico y densidad del biogás

Antes de hacer uso del biogás, se requiere conocer estas características para saber el tratamiento que será necesario darle, de acuerdo al uso específico buscado. La monitorización de la presión se hace necesaria además para tener un control de ella al interior del reactor y en las tuberías. Una variación brusca de ésta dentro de la planta conlleva peligro de explosión (Weiland, 2009; Varnero, 2011).

2) Temperatura

La rapidez a la que crecen los microorganismos en la degradación anaerobia determina la rapidez de reacción y a su vez depende de la temperatura a la que se lleva a cabo el proceso. Conforme aumenta la temperatura, la tasa de crecimiento

también lo hace y el proceso se acelera, produciendo mayores cantidades de biogás. Una variación brusca en la temperatura provoca desestabilización del proceso (Varnero, 2011). La temperatura de operación del reactor o digestor en el que se lleva a cabo la degradación se considera como uno de los principales parámetros de diseño, sobre el cual se recomienda ampliamente tener un control y una monitorización. En la Tabla 3.1 se muestran los tres rangos de operación en los que los microorganismos anaerobios pueden trabajar.

Tabla 3.1 Rango de temperaturas y tiempo de fermentación anaerobia (Lagrange, 1979)

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psicrófila	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesófila	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Termófila	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

3) Tipo de materia orgánica

La calidad del sustrato empleado, en términos de su producción de biogás, depende en parte de su frescura. Mientras más fresco sea, la producción es mayor y con un menor riesgo de que se acidifique. Un sustrato ácido inhibe y en ocasiones mata las bacterias presentes en la digestión. Las propiedades bioquímicas de los residuos no deben de inhibir el desarrollo y actividad de los microorganismos en el sistema. Además, el proceso requiere que la materia orgánica tenga un equilibrio en sales minerales como el azufre, fósforo, potasio, magnesio y zinc, entre otros, aparte del carbono y nitrógeno (Varnero, 2011). En la Tabla 3.2 se muestran los distintos orígenes de los residuos orgánicos utilizados en la degradación anaerobia. Algunos de ellos tienen un alto contenido de lignina, haciendo necesario su pre-tratamiento con el fin de facilitar su degradación a lo largo del proceso. Sin embargo, no importando cual sea el empleado, se recomienda realizarle pruebas de laboratorio antes y durante el proceso, así como al biogás y al compost obtenidos.

Tabla 3.2 Residuos orgánicos de diversos orígenes (Varnero y Arellano, 1990)

Origen	Residuos
Animal	Estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros) y residuos de pescados
Vegetal	Malezas, rastrojos de cosechas, pajas y forraje en mal estado
Agroindustrial	Salvado de arroz, orujos, melazas y residuos de semillas
Forestal	Hojas, vástagos, ramas y cortezas
Cultivos acuáticos	Algas marinas, jacintos y malezas acuáticas

4) Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles

La materia orgánica se compone en parte de agua y en parte de sólidos. A esta fracción se le llama sólidos totales (ST). La facilidad con que se mueven los microorganismos dentro del sustrato se limita cuando hay una elevada presencia de sólidos, afectando la producción de biogás (Varnero, 2011). Algunos sustratos requieren ser mezclados con agua para dotarlos de una proporción de sólidos totales y una consistencia adecuadas. La cantidad agregada debe de ser calculada, ya que un exceso implica pérdida de energía necesaria en el proceso (Bidlemaier, 2009). Cuando los sólidos totales se calientan a más de 550°C, hay una parte de ellos que se liberan. A esta porción se le llama sólidos volátiles (SV). Estos poseen componentes orgánicos que teóricamente se deben de convertir en metano (Varnero, 2011).

5) Tiempo de retención hidráulico (TRH) y velocidad de carga orgánica (VCO)

El tiempo de retención hidráulico es el tiempo que el sustrato es sometido a la acción de las bacterias para su degradación. Cuando el TRH aumenta, mayor cantidad de materia es degradada y hay en consecuencia un incremento en la producción de metano. Cuando se habla de un tiempo de retención de 50 días, significa que los residuos orgánicos y la población bacteriana permanecen este tiempo dentro del sistema. Por lo general se opera con tiempos de retención entre 20 y 55 días, con cargas de 1 a 5 kg de ST por metro cúbico del digestor (Varnero, 2011). Según el origen de los residuos, aquellos que tienen mayor concentración de carbono retenido en las moléculas demandarán mayor tiempo de retención para ser totalmente digeridos. El tiempo que requieren las bacterias para llevar a cabo la degradación, depende en gran parte del calor en dicho sistema. A mayor temperatura menor es el tiempo de retención necesario para obtener una buena producción de biogás. Esto implica que a menor tiempo de retención, menor volumen del digestor es necesario para digerir cierta cantidad de materia orgánica en un intervalo de tiempo fijo.

La velocidad de carga orgánica es la cantidad de residuos orgánicos suministrados a diario en el reactor por unidad de volumen. Una baja velocidad conlleva un elevado tiempo de retención, mientras que incrementarla implica una disminución en la generación de biogás por unidad de materia orgánica suministrada (IDAE, 2007). El TRH, junto con la VCO son los principales parámetros de diseño al determinar el volumen de un digestor.

3.1.2 Parámetros químicos de monitorización y control en una planta de biogás

a) Ácidos grasos volátiles (AGV)

Este tipo de ácidos se forman en las primeras etapas de la degradación anaerobia. Su rápida respuesta ante variaciones del sistema ha provocado que sea uno de los parámetros más usados en los sistemas de control (Wiese y Köning, 2007; Varnero, 2011). Una alta concentración de AGV provoca una caída en el pH, por ende, ocurre una acidificación del sustrato e inhibición de bacterias metanogénicas, lo que resulta en una caída en la producción de metano.

b) Alcalinidad

En un proceso de degradación anaerobia, las variaciones de pH se pueden controlar mediante la alcalinidad presente en el sistema. La alcalinidad neutraliza la acumulación de ácidos grasos volátiles. En ocasiones se utilizan distintas sustancias químicas que funcionan como suplementos alcalinos para mantener en equilibrio el pH (Wiese y Köning, 2007).

c) Concentración de gases

La calidad del biogás está relacionada con las concentraciones de metano, dióxido de carbón, sulfuro de hidrógeno, amoníaco, vapor de agua y de otros gases traza (Weiland, 2009). Entre mayor cantidad de metano se obtenga, la calidad es mejor.

d) Conductividad

A través de la conductividad se puede conocer las concentraciones de sal en el proceso. Altos rangos de salinidad pueden inhibir la producción de biogás. Cuando la conductividad incrementa, la salinidad decrece (Wiese y Köning, 2007).

e) Nutrientes y concentración de minerales traza

Aunque en la degradación anaerobia la necesidad de nutrientes no es tan alta como en un proceso aerobio, se considera de suma importancia su presencia en el sistema para la síntesis de nueva biomasa. De entre los considerados macronutrientes, el nitrógeno y el fósforo son los que mayor presencia tienen. Considerando que la masa celular está compuesta aproximadamente en un 12% de nitrógeno, se necesitarían 12 g de éste por cada 100 g de biomasa producida en la degradación anaerobia.

Por otra parte, la cantidad de fósforo demandada para la misma cantidad de biomasa producida, corresponde entre la quinta y séptima parte de la del nitrógeno. Se asume que una décima parte de la materia orgánica removida

(DQO) a lo largo del proceso anaerobio es utilizada para sintetizar la biomasa (Varnero, 2011). Los llamados metales traza benefician la actividad de los microorganismos anaerobios y mejoran la producción de metano. Algunos de los presentes en este proceso son: hierro, cobalto, selenio, calcio, magnesio, zinc, cobre y boro, entre otros (Varnero, 2011).

f) pH

El pH influye en los diversos equilibrios químicos que hay dentro del digestor. Puede provocar que se forme cierto componente de alta influencia durante el proceso. Por ejemplo, en los equilibrios ácido-base del amoníaco y el ácido acético, cuando el pH aumenta se favorece la formación de amoníaco que, en altas concentraciones, inhibe el crecimiento bacteriano; en cambio, cuando el pH es bajo se produce en mayor cantidad una forma de ácido acético que afecta de la misma manera que el anterior (Varnero, 2011). Para que la degradación anaerobia se lleve a cabo satisfactoriamente, el pH debe de rondar la neutralidad, es decir, no debe de ser menor a 6 ni mayor a 8.

La calidad y composición tanto del biogás como del compost obtenidos son determinadas por el valor del pH en el interior del digestor. Si éste es menor a 6, el biogás generado tendrá bajas concentraciones de metano y por ende poco potencial energético. Esto se debe a que los microorganismos formadores de metano son más susceptibles que el resto de microorganismos presentes en la degradación anaerobia a los cambios en el pH (Varnero, 2011). Su condición óptima de operación se da cuando el valor de éste está entre 7.8 y 8.2; para los formadores de ácidos entre 5.5 y 6.5 y para cultivos mixtos entre 6.8 y 7.4, teniendo al neutro como ideal (Varnero, 2011). En la Figura 3.1 se muestra la dependencia de la actividad metanogénica del pH.

El nivel de pH deseado se puede lograr mediante el pre-tratamiento del sustrato o bien una vez que está dentro del reactor al añadir sustancias químicas, en cantidades específicas, como bicarbonato de sodio, hidróxido de amonios, cal, etc. según se necesite. Se recomienda el primero debido a su alta solubilidad y baja toxicidad (Varnero, 2011).

g) Potencial redox

Con el fin de asegurar el ambiente reductor que los microorganismos formadores de metano necesitan para su óptima actividad, el valor del potencial redox se debe de mantener entre -220 mV y -350 mV con un pH neutro (Wiese y Köning, 2007).

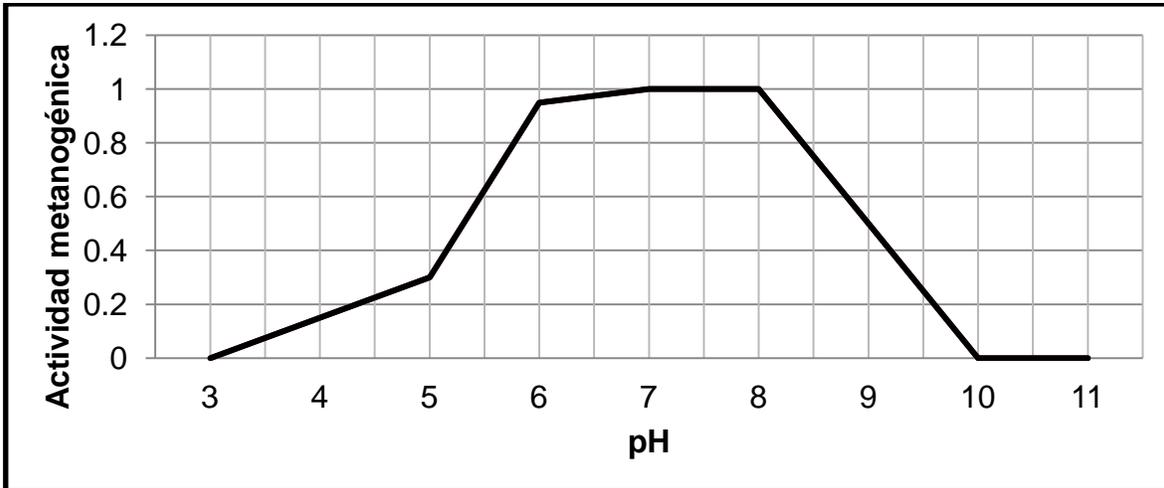


Figura 3.1 Dependencia del pH por parte de la actividad metanogénica (Speece, 1996)

3.2 SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN EN PLANTAS DE BIOGÁS

Como parte de este subcapítulo se presentan los sistemas de monitorización utilizados en dos plantas de biogás en México. La primera pertenece a la Cervecería Cuauhtémoc ubicada en Toluca, Estado de México. En esta planta el biogás se genera durante el tratamiento de las aguas residuales que los procesos de producción de cerveza arrojan. La segunda planta en cuestión es BENLESA de la cual se habló anteriormente.

3.2.1 Sistema de monitorización en la PTAR de la Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma

Cuauhtémoc Moctezuma es uno de los grandes productores de cerveza en México y a nivel mundial. Tienen en operación seis plantas en el territorio nacional. Cada una de ellas cuenta con instalaciones para el tratamiento de aguas residuales. En la actualidad tienen implementado el “Programa de Optimización de Energía” en las plantas de Monterrey y de Toluca. Este consiste en la instalación y puesta en marcha de un sistema de monitorización junto con la instalación de equipo de campo para que el consumo energético, térmica y eléctricamente hablando, tenga mayor eficiencia (CCM, 2011).

La siguiente información fue proporcionada por el Ingeniero Fernando Rosales, responsable del control y supervisión de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma, en una entrevista realizada el 20 de agosto del 2012 por los sustentantes de esta tesis.

La planta ubicada en Toluca, Estado de México, comenzó a operar alrededor de 1990 y se diseñó principalmente para reducir la cantidad de agua que se

desechaba al producir la cerveza y no para aprovechar el metano producido durante el tratamiento. En ese entonces por cada litro de cerveza producido se consumían hasta 7 litros de agua, alcanzando un flujo de entrada a la planta de 104 L/seg. El agua residual contenía muy poca cantidad de materia orgánica. En la actualidad, por cada litro de cerveza producido se desechan entre 2.6 y 3 litros de agua residual, que contiene mucho más materia orgánica que al inicio de operaciones. Esto ha provocado que la planta esté sobrada, es decir, que opere a menos del 50% de su capacidad. El proceso general se divide en dos grandes fases que se describen en seguida y que son: pre-tratamiento y tratamiento de aguas en tren de agua y en tren de sólidos.

a) Pre-tratamiento:

Durante esta fase, el agua es acondicionada para que en el siguiente proceso sólo se tenga que degradar la materia orgánica que contiene el agua. A lo largo de éste se retiran los sólidos mayores a 0.5 mm de diámetro. El agua proveniente de la productora se introduce en dos cárcamos de amortiguamiento en donde se hace la remoción de todos los sólidos grandes y pequeños, por ejemplo: botellas, latas, corcholatas, papel, madera, vidrio, etc. Después se da otro tratado en un tamiz al agua, que para esta parte ya tiene sólidos muy pequeños, como es la tierra, levadura y material proveniente del asfalto. Esta materia se separa en un tanque de sedimentación primario. El agua entra a éste por la parte central y por flujo radial precipita los sólidos, para salir por los extremos con pura materia orgánica.

b) Tratamiento del agua en un tren de aguas y en un tren de sólidos

b.1) Tren de aguas: proveniente del tanque de sedimentación primario, el agua se introduce en un tanque de homogenización en donde se agita constantemente para mantener las mismas condiciones físicas (carga orgánica, temperatura, etc.) en todos los puntos, cuidando que su pH esté neutro. De ahí se pasa a un proceso de degradación híbrido, es decir, se presentan condiciones de sistemas tanto anaerobios como aerobios. Primero es la parte anaerobia donde se degrada un 85% de la materia orgánica que tiene el agua, teniendo como subproductos metano, dióxido de carbono, agua y, en pocas cantidades, azufre y ácidos. El biogás producido se dirige a una antorcha para su combustión, ya que su emisión al medio es altamente contaminante y perjudicial para la salud. Después viene la parte aerobia donde se balancea la masa y se mantienen cierta cantidad de microorganismos. Por último, se dirige al líquido tratado a un clarificador secundario en donde se agregan cantidades mínimas de cloro para matar las bacterias restantes en los sólidos que arrastra el agua.

b.2) Tren de lodos: en el tanque de sedimentación primario del proceso de pre-tratamiento, se forma una cama de lodos, la cual se purga paulatinamente y se envía al este tren. El tren de lodos inicia con una etapa de sedimentación más para precipitar los sólidos. Los lodos obtenidos se tratan en digestores de cúpulas deslizables. Se mantiene cierta carga orgánica, se produce degradación anaerobia, cierta cantidad de biogás y se degrada, se convierte en agua. Lo importante de este producto es que las bacterias que se arrastran ya no estén vivas para que puedan ser depositadas en un relleno sanitario y no provoquen daños a la salud y al medio.

Sistema de monitorización y equipo utilizado

Hasta aquí se hizo una descripción somera del proceso. En seguida se mencionan las características del sistema de monitorización utilizado. Este se lleva a cabo desde una estación supervisora por medio de un equipo de cómputo que tiene instalado un programa diseñado especialmente para la planta. Cada uno de los cárcamos y reactores, por cada una de las fases descritas que integran el proceso general de tratamiento, tienen asociada una ventana única en la que se muestran:

- Una representación gráfica de los mismos.
- Indicadores numéricos de las mediciones de los parámetros principales como: pH, presión, temperatura, metano, conductividad, dióxido de carbono y flujos.
- Barras de nivel que indican el volumen alcanzado por los líquidos contenidos.
- Botones para el encendido y apagado de los equipos.
- Indicadores de estado de los equipos.
- Botón para elegir entre modo manual y modo automático en la operación de bombas y agitadores.

En caso de que algún parámetro se saliera del rango de mediciones normales, o que algún equipo dejara de funcionar, el programa tiene un sistema de alarmas gráfico y, en situaciones de riesgo, se agrega uno auditivo que se conecta a bocinas y sirenas instaladas en la planta. El programa ofrece la opción de desplegar una gráfica de comportamiento de los parámetros, de forma individual o simultánea, en tiempo real o en un intervalo de tiempo específico. Además, guarda un historial de los datos registrados durante un año. No se considera necesario conservar datos con mayor antigüedad debido a que el proceso ya está controlado.

Al inicio del pre-tratamiento se monitorizan el pH y la conductividad para saber las condiciones en las que entra la alimentación, además del flujo de entrada y niveles

de tanques. Para esto se tienen instalados los sensores necesarios en cada reactor o cárcamo. Además, de manera simultánea se toman muestras del líquido cada hora y se mide directamente el pH. Este es la única medición directa hecha por el personal. Para la segunda fase, tanto en el tren de lodos como en el de agua se monitoriza la producción de biogás en los reactores. Actualmente se generan entre 2,000 y 3,000 m³/día.

La planta está automatizada en un 90%. El control se hace mediante un PLC Allen Bradley SLC 550. Los equipos que gobiernan son bombas en los primeros cárcamos y agitadores dentro de los reactores. El equipo de bombeo es necesario debido a la construcción horizontal de la planta, no se puede recurrir a la acción de gravedad para llenarlos. Con los que operan actualmente, tienen una capacidad de 30 HP, pudiendo bombear hasta 150 litros por segundo. Para encender o apagar los equipos, el PLC envía señales, según su programación, de entre 4 y 12 mA. La mayoría de los equipos operan a 120 V. Anteriormente también se gobernaban los dosificadores de sustancias reguladoras del pH, sin embargo, se dejó esta parte para su operación y control manual.

3.2.2 Sistema de monitorización en BENLESA

Este sistema se basa en la versión 7 del ACM001 que es la metodología de monitorización para proyectos de extracción de biogás en rellenos sanitarios registrados ante el MDL (BENLESA, 2009). De acuerdo a esta metodología, la monitorización se basa en la medición directa de la cantidad de biogás capturado y destruido en la antorcha de la planta y en la unidad generadora de electricidad. Los parámetros que se miden son: metano, temperatura, presión, flujo del biogás en metros cúbicos y la eficiencia de la antorcha. Los datos recolectados deben de mantenerse durante dos años después de terminarse el periodo de acreditación (CDM, 2012).

a) Equipo de monitorización

En la planta se utilizan equipos de monitorización para la medición de los principales parámetros de operación y de la electricidad generada y entregada a la red. A continuación se mencionan y se hace una descripción de cada uno (LANDTEC, 2012):

- Analizador de las emisiones en la antorcha: Este equipo es desarrollado por LANDTEC. En el mercado se conoce como *F.E.A.* que son las siglas en inglés para *Flare Emissions Analyzer*. Es un sistema integral que monitoriza continuamente el metano (CH₄) y el oxígeno que salen de la antorcha. Esto permite calcular la eficiencia en la reducción de las emisiones.

- Unidad analítica de campo: Su nombre en inglés es *Field Analytical Unit* y se conoce como *FAU*. Mide las concentraciones de metano y de dióxido de carbono (CO₂) en el biogás producido en el relleno sanitario y también mide las temperaturas de los gases de escape en la antorcha individual y globalmente.
- Medidor de flujo FT157: Medidor térmico de flujo másico que mide la temperatura y la presión automáticamente, expresando el volumen de los biogás generado en el relleno sanitario en metros cúbicos. La medición del flujo de biogás se hace en tres puntos: en la tubería principal proveniente del relleno sanitario, en las que van a la planta generadora y a la antorcha respectivamente. Así se sabe qué cantidad de biogás es producido, cuanto se quema y cuanto se convierte en energía eléctrica.
- Transmisor de presión: Mide la presión con que viaja el biogás a través de la tubería principal.
- Medidor de energía: Este equipo mide la distribución y transmisión de la planta entre las subestaciones propias y la red eléctrica nacional.

En la Tabla 3.3 se muestran los equipos utilizados para la monitorización total de la planta, incluyendo su frecuencia de calibración. Esta se realiza periódicamente de acuerdo a las especificaciones técnicas hechas por los fabricantes, pero principalmente por el procedimiento P-7.6-01 sobre “Calibración de equipo de medición” (BENLESA, 2009).

Tabla 3.3 Equipo de monitorización utilizado en la planta BENLESA de Monterrey (BENLESA, 2009)

Parámetro	Instrumento	Modelo	Fabricante	Frecuencia de calibración
CH₄, CO₂ y Temperatura	FAU	FAU	LANDTEC	6 meses
CH₄ y Temperatura	FEA	FEA	LANDTEC	12 meses
Gas de relleno sanitario	Medidor de flujo	62-9/9500	Thermal Instrument	18 meses
Presión del biogás	Transmisor de presión	Rosemount 3051	Emerson	60 meses
Electricidad generada	Medidor de energía	Power Logic ION 8600	Schneider Electronic	24 meses

b) Recolección de datos

Todos los parámetros medidos son registrados en el Sistema de Monitorización de Extracción Automatizada (conocido como *AEMS* por sus siglas en inglés), el cual adquiere y almacena datos extraídos desde distintas fuentes. Para cada uno de ellos, este sistema hace una rutina de lectura, recolección, registro, almacenado y envío de información a los servidores de LANDTEC, ya sea por red celular o satelital, al mismo tiempo que hace un respaldo en otra red de internet conocida como Tier 3. Esta rutina se realiza continuamente cada cinco minutos para todos y cada uno de los parámetros. La información puede consultarse vía internet usando el sistema de LANDTEC. La conexión está disponible durante las 24 horas del día, lo que permite una monitorización y descarga de datos en tiempo real. En la planta hay una persona responsable de garantizar el control y la calidad de la información almacenada.

Diariamente se encarga de descargar la información registrada en los servidores de LANDTEC y hace una revisión completa de la misma para comprobar que no haya anomalías con los equipos de medición o falta de registros para algún parámetro. Cualquier discrepancia se compara con la información registrada por los operadores de los equipos de medición, quienes con la finalidad de evitar problemas por pérdida de información, deben de registrar la correspondiente a cada uno de los parámetros principales manualmente todos los días. Estos registros se transfieren a una hoja de datos en Excel que sirve para realizar la comparación con la información del servidor. Esta debe de incluir cuatro columnas destinadas a:

- Los nombres de los parámetros,
- Colocar las etiquetas correspondientes a cada parámetro,
- Describir brevemente la medición, e
- Indicar la unidad en que se expresan

Los reportes de monitorización se hacen mediante estos libros, los cuales contienen la información registrada a lo largo de un mes en intervalos de cinco minutos.

Cuando hay un error en los registros, ya sea por pérdida o invalidez de la información, se registra en un documento que contiene el historial de errores con el siguiente formato:

Parámetro	Periodo		Descripción del error	Acción tomada para reponer la información
	De	A		

3.3 MERCADO DE SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN PARA PLANTAS DE BIOGÁS

La importancia de mantener estable el proceso de degradación anaerobia en las plantas de biogás abrió un campo de mercado a empresas que ofrecen sus servicios para desarrollar e implementar sistemas de monitorización y control que satisfagan necesidades particulares de los operadores. A continuación se presentan tres empresas líderes en este campo que destacan por desarrollar sus propios equipos de monitorización, automatización y control y por el aprovechamiento y la inclusión de las nuevas tecnologías en sus sistemas, facilitando la operación al usuario final.

3.3.1 LANDTEC

LANDTEC es una empresa estadounidense con 20 años de experiencia reconocida a nivel mundial por su sistema de monitorización para plantas de biogás llamado "*LANDTEC System*". Su matriz está en California y cuenta con una extensión en Europa y otra en Brasil. Debido a su control, conocimiento del área y desarrollo de tecnología específica, es una de las empresas que tiene mayor participación en los proyectos inscritos al MDL. Sus equipos (descritos anteriormente al tratar la planta BENLESA en Monterrey), son un parámetro de evaluación en el mercado.

El sistema de monitorización global comprende equipos de medición y analizadores de gas instalados directamente en la planta y el software LANDTEC System. Este es una plataforma basada en aplicaciones web y herramientas de análisis con capacidad de informes extensos. Utiliza una base de datos segura diseñada para acceder a miles de millones de registros de clientes en todo el mundo. Los datos se almacenan en servidores seguros en alguna sede de LANDTEC con copia de seguridad simultánea en un centro de datos en otro lugar. Cuenta con un centro de datos remoto que proporciona disponibilidad y seguridad de los éstos en caso de catástrofe. Ofrece la opción de visualizar las operaciones de campo de manera precisa y fiable y de compartir la información entre todos los participantes del proyecto, sin importar su ubicación. Además, estos pueden ser informados constantemente del estado de la planta y sus equipos mediante el envío periódico de notificaciones a sus correos electrónicos o por mensajes de texto (LANDTEC, 2012).

Una de las principales características y objetivos de LANDTEC System consiste en facilitar al usuario la extracción de información realmente útil de entre todos los datos generados. Por ejemplo, es posible realizar una configuración para generar reportes con requerimientos especiales, como los del MDL, de manera rápida. A grandes rasgos, su algoritmo de operación es el siguiente (LANDTEC, 2012):

- **Recolectar** datos repetidamente desde la planta con precisión,
- **Validar** los datos recolectados para asegurar su precisión e integridad,
- **Analizar** la tendencia de los datos en el tiempo y la producción de gas, y
- **Comunicar** la información importante y relevante mediante gráficas, reportes y mapas a los operadores indicados.

3.3.2 Sistema de monitorización BENTEC bioenergías

Bentec Bioenergías SL es una empresa española filial de la Alemana Biogas wesen-Ems GmbH & Co. KG. En conjunto ofrecen asesoría para la planificación, el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de plantas de biogás a pequeña y gran escala. Hasta este año han construido 280 plantas. Generalmente el biogás producido se transforma en electricidad y calor con una unidad de cogeneración. El sistema de control en estas plantas se hace con un PLC, mientras que el de monitorización utiliza un equipo de cómputo central. Las principales características y objetivos en las que se basan los sistemas de control y monitorización de estas empresas son (Bentec, 2011):

- Fácil manejo y clara visualización de la interfaz gráfica de usuario.
- Los parámetros que despliegan en la pantalla principal son: condiciones de llenado de los digestores, de la planta y del equipo mecánico, temperatura y poder calorífico del biogás.
- La información relacionada con la alimentación de los digestores se presenta en tiempo real.
- Los datos obtenidos se almacenan continuamente y se utilizan para el análisis y la optimización de la planta.
- Es flexible a cambios en la programación según los requerimientos de la planta.
- Para el control del proceso se toman muestras y se analizan la materia orgánica, el pH, la demanda química de oxígeno, los ácidos grasos volátiles, el amonio y el nitrógeno total.
- La planta puede ser monitorizada, analizada, controlada y diagnosticada remotamente desde cualquier equipo de cómputo, incluidos los teléfonos móviles. Se puede configurar el sistema para enviar alarmas a estos dispositivos.

3.3.3 ABB

ABB es una empresa líder en tecnologías de automatización, resultado de la fusión de la compañía Sueca AESA y la Suiza BBC. En la actualidad opera en aproximadamente cien países y es la más grande proveedora a nivel mundial de aerogeneradores y motores industriales. Cuenta con productos orientados a la

automatización y operación segura de una planta de biogás (de pequeña y gran escala) para cada una de las etapas de producción. El sistema de control que implementan se llama “*Freelance*”. Fue desarrollado en conjunto por programadores e investigadores con base en las demandas hechas por los clientes (operadores de plantas de biogás principalmente) y que se resumen a continuación (ABB, 2012):

- Confiabilidad y alta disponibilidad,
- Fácil manejo y mantenimiento,
- Enfocado a la optimización de la producción y la seguridad,
- Diseño flexible para futuras ampliaciones o requerimientos de la planta,
- Sistema integral, es decir, que desde los instrumentos de medición en la planta hasta los paneles de control de los operadores trabajen en conjunto,
- Haga diagnósticos y mantenimiento remotos, y
- Facilite el acoplamiento de subsistemas.

Freelance facilita la monitorización y control de una planta vía Ethernet. Cuenta con una interfaz de control de sistemas, diseñada para una rápida navegación y control en situaciones de emergencia. Tiene una arquitectura punto a punto, es decir, cada uno de los elementos individuales que conforman al sistema se comunican entre sí. El resultado es una red de fácil expansión y que evita las complejas estructuras de comunicación o la dependencia con un servidor superior. Se pueden configurar listas de alarmas. Esto permite que eventos identificados como situaciones de emergencia se detecten inmediatamente, por lo general, antes de que la situación sea crítica. Los datos adquiridos en la medición pueden ser procesados y desplegados en Excel para facilitar la lectura de estos. También, se pueden generar gráficas e historiales de eventos con el fin de diagnosticar al sistema de manera global e individual. Por último, con base en las características del material que se utiliza como biomasa es posible calcular el potencial en la producción y minimizar las pérdidas de gas (ABB, 2012).

3.4 CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN CON TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES

Como una alternativa a los sistemas de monitorización para plantas de biogás existentes en el mercado, se tiene la creación de uno a partir de tarjetas de adquisición o con controladores de lógica programable. En seguida se presentan cinco compañías dedicadas a la construcción de estas herramientas para este fin específico.

3.4.1 ADInstruments

PowerLab es un sistema de adquisición de datos desarrollado por ADInstruments, una compañía australiana líder en el ámbito desde 1988. Consta de dispositivos periféricos inteligentes que llevan a cabo la adquisición de datos, acondicionamiento y procesamiento de señales. Las señales análogas entrantes son amplificadas para posteriormente ser convertidas en digitales y transmitidas a una computadora a través de una conexión USB. La Tabla 3.4 muestra las familias de equipos de adquisición que tiene PowerLab y las características de cada una, enunciadas por el propio fabricante, organizadas por serie y modelos. LabTutor y LabChart son 2 software para el despliegue de los datos obtenidos desarrollados para trabajar con PowerLab. LabTutor fue diseñado con fines de enseñanza. Introduce al usuario a los sistemas de monitorización. Su capacidad es suficiente para crear aplicaciones de uso doméstico. Por su parte, LabChart ofrece un análisis más completo para el almacenamiento de datos, así como para la cantidad de información que se quiera desplegar (ADInstruments, 2012).

3.4.2 LabJack

Labjack es una marca estadounidense que desarrolla tarjetas de adquisición de datos basadas en los sistemas de comunicación USB y Ethernet. Los dispositivos de adquisición de datos cuentan con entradas y salidas digitales y analógicas. La Tabla 3.5 muestra las características principales de cada una de las familias y sus modelos, según la información proporcionada por la marca. LabJack no ha desarrollado ningún software específico para controlar sus dispositivos de adquisición (LabJack, 2012).

3.4.3 National Instruments

National Instruments (NI) es una empresa estadounidense líder en el diseño de sistemas gráficos para aplicaciones de pruebas, control y diseño embebido. La Tabla 3.6 muestra las características de las tarjetas de adquisición que desarrolla esta empresa, según la información que ella misma proporciona. Desarrollado por NI hace 25 años LabVIEW es un entorno de programación gráfico orientado a la adquisición de datos, procesamiento de señales, control de instrumentos, automatización de sistemas de pruebas y validación, monitorización embebida, control, enseñanza e investigación. Cuenta con una interfaz gráfica de usuario propia conocida como Panel Frontal. Esta despliega elementos gráficos asociados con los bloques de programación. A los programas construidos en este software se les conoce como “instrumentos virtuales”. LabVIEW permite construir servidores web para que dichos instrumentos virtuales puedan ser consultados de manera remota (Lajara, J. y Pelegrí, J. 2011; NI, 2012).

3.4.4 Allen Bradley

Allen Bradley es una empresa estadounidense dedicada a la creación de equipos para la automatización a nivel industrial. La Tabla 3.7 se muestran las características de la familia de SLC 500 de la compañía Allen Bradley.

Tabla 3.4 Principales familias de tarjetas de adquisición de ADInstruments y sus características (ADInstruments, 2012)

Serie	Modelos	Características
35	PowerLab 4/35 PowerLab 8/35 PowerLab 16/35	<ul style="list-style-type: none"> - 4,8 ó 16 entradas analógicas, según el modelo - Adquisición de datos sin pérdidas de los mismos - Velocidades de 200,000 muestras por segundo por canal - 4 puertos pod para mayor amplificación - 8 entradas y salidas digitales para dispositivos de control externo o disparos - Filtros paso-altas y paso-bajas - Entradas AC/DC acopladas
26	PowerLab 2/26 PowerLab 4/26 PowerLab 26T	<ul style="list-style-type: none"> - 2 ó 4 entradas analógicas, según el modelo - Velocidad de muestreo de hasta 100,000 muestras por segundo por canal - Entradas BNC y Diferencial - 2 canales de salida - Disparo de entrada - Entradas y salidas digitales para dispositivos de control externo o disparos (sólo 26T) - Conector USB para Windows y MacOS
T	PowerLab 15T	<ul style="list-style-type: none"> - 2 entradas analógicas - Velocidad de muestreo de hasta 100,000 muestras por segundo por canal - 2 salidas analógicas

Tabla 3.5 Principales familias DAQ de LabJack y sus características (LabJack, 2012)

Familia	Modelos	Características
U3	U3-LV U3-HV	<ul style="list-style-type: none"> - 16 terminales para ser usadas como entradas o salidas digitales o como entradas analógicas - El rango de voltaje para las señales de entrada puede ser de ± 10 o de -10 a +20 V, según el modelo - Rango de voltaje de entrada de ± 10 - 2 salidas analógicas (10 bits, 0-5 V) - Los controladores son compatibles con Windows, Linux y Mac - USB 2.0
U6	U6 U6 Pro	<ul style="list-style-type: none"> - 14 entradas analógicas y 7 diferenciales - El rango de voltaje para las señales de entrada puede ser de ± 10, ± 1 y ± 0.1 V, según el modelo - Sensor de temperatura - 2 salidas de corriente (10-200 μA) - 2 salidas analógicas - 20 terminales para entradas y salidas digitales - Rango máximo de entrada de hasta 50 KHz - Capacidad de respuesta menor a un milisegundo - USB 2.0
UE9	UE9 UE9 Pro	<ul style="list-style-type: none"> - 14 entradas analógicas - Rango de voltaje para las señales de entrada ± 5 V - 2 salidas analógicas (12 bits, 0-5 V) - 23 terminales para entradas y salidas digitales - Rango máximo de entrada de hasta 50 KHz - Capacidad de respuesta menor a 1.5 milisegundos - USB 2.0 - Interfaz Ethernet 10BASE-T - Procesador con 168 MHz - Opción para adquisición de datos inalámbrica - Los controladores son compatibles con Windows, Linux y Mac.

Tabla 3.6 Principales familias de tarjetas de adquisición de NI y sus características (NI, 2012)

Serie	Modelos	Características
X	NI-USB NI-PCIe NI-PXIe	<ul style="list-style-type: none"> - Hasta 32 entradas analógicas - Hasta 4 salidas analógicas - Máximo voltaje de entrada analógica 10 V - Rango de voltaje máximo ± 10 - Entre 24 y 48 terminales de entrada y salida digitales - Velocidad de muestreo máxima 2 MS/s/canal - 4 contadores/temporizadores a 100 MHz a 32 bits - Buses USB, PCI Express, PXI Express
M	NI-PCI NI-PXI	<ul style="list-style-type: none"> - Hasta 80 entradas analógicas de 16 bits - Hasta 4 salidas analógicas de 16 bits - Máximo voltaje de entrada analógica 10 V - Rango de voltaje máximo ± 10 - Entre 24 y 48 terminales de entrada y salida digitales - Velocidad de muestreo máxima 1.25 MS/s/canal - 2 contadores/temporizadores a 80 MHz a 32 bits - Sincronización entre dispositivos - Buses USB, PCI, PXI
R	-	<ul style="list-style-type: none"> - Hasta 8 entradas analógicas - Hasta 8 salidas analógicas de 16 bits - Máximo voltaje de entrada analógica 10 V - Rango de voltaje máximo ± 10 - 96 líneas digitales configurables como de entrada y salida - Velocidad de muestreo máxima 750 KS/s/canal - Control de temporización basado en FPGA - Sincronización entre dispositivos - Buses PCI, PCIe, PXI

Tabla 3.7 Características principales de la familia SLC 500 de la compañía Allen Bradley (Allen-Bradley, 2009)

Familia	Características
SLC 500 system	<ul style="list-style-type: none"> - Operación a 120 ó 240 V en AC - Hasta 16 entradas analógicas con rangos de voltaje admitidos de ± 10 V y ± 20 mA de corriente - Hasta 8 salidas analógicas con rangos de voltaje admitidos de ± 10 V y ± 20 mA de corriente - Construcción modular. Módulos para procesador, alimentación de voltaje, de entradas y salidas, memoria y de comunicación - La construcción física permite la incorporación de hasta 13 módulos adicionales - Cada módulo puede tener hasta 32 terminales para entrada y salida - La velocidad de comunicación 5 Mb/s - Diseño para trabajar en condiciones térmicas extremas. - Protección de ruido eléctrico - Comunicación para procesos distribuidos vía Ethernet, ControlNet, DeviceNet y DH+

CAPÍTULO 4. CASO DE ESTUDIO

Planta piloto de biogás en Ciudad Universitaria

La planta se localiza en el circuito escolar de Ciudad Universitaria, en la parte posterior de CIBARIUM, una de las trece cafeterías de la Universidad, ubicada ésta entre la Torre de Ingeniería y la Alberca Olímpica. Se diseñó exclusivamente para el tratamiento de materia orgánica generada en dicha cafetería con el fin de captar, acondicionar y aprovechar el biogás producido. La inversión inicial total aproximada es de \$129,063. Diariamente se introducen entre 70 y 100 litros de materia orgánica a los reactores, de los cuales el 63% se transforma en biogás y el resto en compost. La producción de biogás diaria es de 6.1 m³ con un 56% de metano y el restante 44% de dióxido de carbono en su mayoría. El aporte energético es de 122.09 MJ/d, mientras que en la operación de los equipos se consumen 37.3 MJ/d. Esto quiere decir que por cada MJ consumido se producen 3.27 MJ. Considerando que en la cocina de la cafetería se tienen tres quemadores de 1.5 KW térmicos y que cada uno tiene una eficiencia del 60%, con la cantidad de biogás producida al día se pueden mantener encendidos los tres simultáneamente durante cuatro horas y media.

4.1 DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y PROCESO DE OPERACIÓN

Se utiliza la configuración de digestión en dos etapas. Recordando lo dicho en el primer capítulo, esta configuración consiste en dos reactores colocados en serie; en cada uno de ellos se llevan a cabo las fases de generación de ácido y metano, y su principal objetivo es el de conseguir un tiempo de retención global por debajo al de un reactor de mezcla completa. Los reactores tienen una capacidad de 1 y 5 m³ respectivamente. Debido a las actividades fundamentales para las que fueron diseñados, el primero recibe el nombre de *reactor de agitación* y el segundo de *reactor de recirculación*. Ambos operan a temperatura ambiente. Dentro de ellos se alcanzan tres grados más de temperatura debido a las reacciones que se llevan a cabo. El tiempo de retención de sólidos en los reactores es de 40 días. Para el tratamiento del efluente se construyeron dos estanques de sedimentación. Como se observará, durante este proceso se utiliza equipo auxiliar que facilita las tareas de trituración, llenado de los reactores y conducción del biogás, entre otras. La Figura 4.1 muestra un diagrama de la planta.

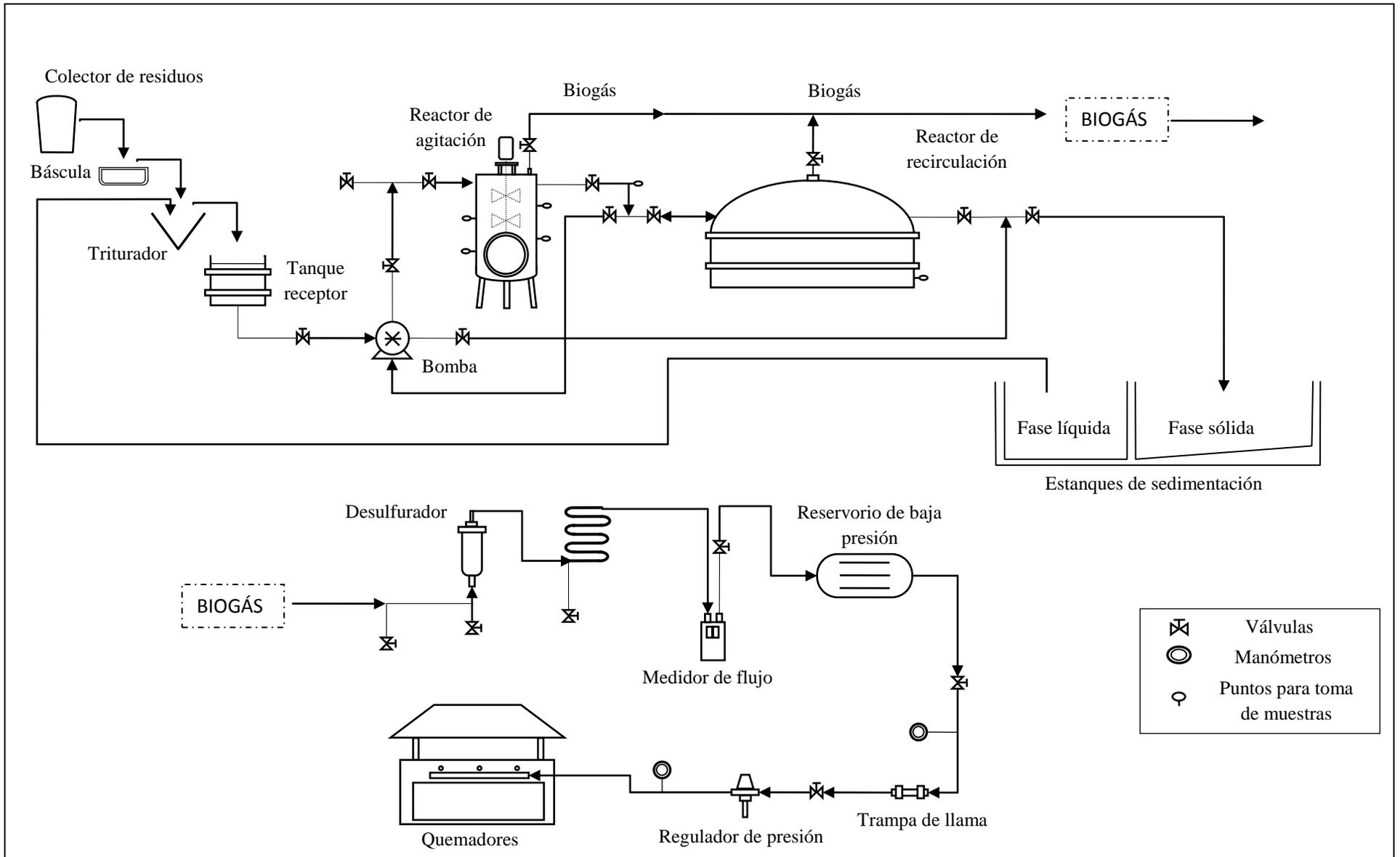


Figura 4.1 Diagrama de la planta de biogás de Ciudad Universitaria

En la planta hay varios puntos para la toma de muestras del sustrato. Estas se analizan en el laboratorio para tener mayor información y control del proceso de operación. A continuación se hace una descripción de cada una de las cinco etapas en que se divide:

Acopio y traslado

Los residuos orgánicos generados en la cafetería son separados y recolectados para después llevarlos a la planta.

Pre-tratamiento

Se hace una selección y limpia de los residuos orgánicos. Esto se debe a dos razones. La primera tiene que ver con la incorrecta separación de basura en la cafetería y el mal uso de los contenedores por parte de comensales y trabajadores. La segunda es porque no todos los residuos orgánicos son benéficos para el proceso. Una vez seleccionados se registra su peso y se vierten en una tolva que los dirige hacia un triturador. Ahí se les agrega agua para facilitar la trituración. La última parte en esta etapa es el depósito del sustrato en un tanque receptor. Dentro de él se lleva a cabo la homogeneización y medición del pH. En caso de que no sea neutro, se agrega una sustancia ácida o básica, según sea el caso, para lograrlo.

Degradación anaerobia

Esta se lleva a cabo en los dos reactores. Es importante que los dos carezcan de aire en su interior. El sustrato del tanque receptor se introduce al primer reactor mediante la bomba. En su interior cuenta con un mezclador con el que se realiza la agitación. Los fines buscados en esta parte del proceso son: evitar la estratificación dentro del digestor, mezclar el sustrato fresco con la población bacteriana, hacer uniforme la densidad de ésta y evitar la formación de zonas en las que no haya actividad biológica. La agitación incrementa la producción de gas y disminuye el TRH, debido a que la temperatura, el sustrato y todos los productos se distribuyen uniformemente, además, porque el sustrato y las bacterias entran en mayor contacto, evitando con esto la formación de cúmulos en torno a ellas.

Cuando el reactor está próximo a llenarse, se abre la válvula correspondiente para que comience el llenado por gravedad del segundo reactor. La alimentación es continua, de manera que habrá un momento en el que se está alcanzando la capacidad de éste. Es entonces cuando se inicia la recirculación. Se abre una válvula que dirige al sustrato fuera del mismo mediante una tubería, para introducirlo a él nuevamente. Cuando los tanques están totalmente llenos, el

sustrato alimentado provoca un desplazamiento de efluente del reactor de recirculación.

Captación, acondicionamiento y aprovechamiento del biogás

Aunque en ambos reactores hay una producción de biogás, es en el segundo en que hay una mayor generación debido a su capacidad. La extracción del biocombustible se hace mediante las válvulas que ambos tienen en su parte superior. Su acondicionamiento es necesario con el fin de aumentar el poder calorífico del biogás y de que cumpla con las condiciones necesarias para su uso en la cafetería. Como primer parte de este proceso, se conduce hacia una trampa de condensación. Con esto se disminuye la humedad que tiene y se evita su obturación. El vapor producto de la condensación se expulsa al medio a través de la válvula colocada en la trampa. Después de que el biogás pasa por esta trampa, es conducido a un desulfurador que retiene las concentraciones de sulfuro de hidrógeno presentes.

Su remoción se considera necesaria para prevenir su acción corrosiva, además que en concentraciones mayores a 100 ppm se vuelve tóxico. De ahí se conduce a un sistema en donde se hace una segunda deshidratación. Inmediatamente después pasa por un medidor de gas para conocer el volumen de producción. El almacenamiento del biogás se hace en un reservorio de baja presión, el cual está conectado directamente al medidor. Una vez que está lleno, se abre y el gas que escapa se conduce hacia una trampa de llama. Ésta se coloca para evitar que por una variación de presiones en toda la planta, haya un flujo de los quemadores en la cocina hacia los reactores. Después de la trampa hay un regulador de presión en el que se ajusta la presión para que el biogás pueda usarse como biocombustible en los quemadores. Paralelo al regulador hay un manómetro que muestra y regula la presión del biogás en los sistemas de conducción y almacenamiento. Es en esta parte en la que se toman muestras del gas para conocer su composición, al mismo tiempo que se analiza la efectividad en la remoción de sulfuro y de agua realizadas. El flujo de biogás hacia los quemadores se controla con válvulas individuales.

Manejo y destino de los efluentes

El efluente desplazado del reactor de recirculación se dirige hacia uno de los estanques de sedimentación. Lo que se busca en esta etapa es separarlo en sus fases, por lo que se mantiene en reposo hasta que la parte sólida se precipite y la líquida quede en la parte superior. La fase líquida cae al segundo estanque cuando alcanza cierto nivel en el primero, ahí se almacena y queda disponible para ser reutilizado en la etapa de pre-tratamiento de los residuos orgánicos, para

la preparación del sustrato. Por su parte, el lodo digerido, es decir, la parte sólida que se precipita en el primer estanque, es tratado para convertirlo en compost.

4.2 REQUERIMIENTOS DE MONITORIZACIÓN EN LA PLANTA DE BIOGÁS

Como parte de la puesta en marcha de esta planta en Ciudad Universitaria, se diseñó un sistema de medición electrónica de los siguientes seis parámetros de operación:

- Nivel,
- Presión,
- Temperatura,
- Metano,
- Dióxido de carbono, y
- pH.

Las señales que estos generen serán enviadas a un tablero electrónico ubicado en la planta, en el que se mostrarán los resultados numéricos de las mediciones de manera continua. En la Tabla 4.1 se muestran las características de operación de los sensores. El sistema de monitorización remota a diseñar debe de utilizar estas señales y acondicionarlas para procesarlas en un equipo de cómputo y mostrarlas a los operadores a través de una interfaz gráfica.

Tabla 4.1 Características de operación de los sensores utilizados en la planta

Parámetro	Graduación	Rango de operación del parámetro
Temperatura	10 mV/°C	14 a 22°C
pH	~60 mV/pH	5 a 7
Presión	2.5 V/kPa	0.98 a 1.96 kPa
Metano	0.1mV/ppm	258 a 387 ppm
Dióxido de carbono	2.5mV/ppm	43 a 172 ppm

Se debe de considerar además que la medición se hará en ambos reactores. Por lo tanto, el total de parámetros a monitorizar es doce. Sin embargo, tan sólo son diez las señales analógicas enviadas por los sensores, ya que el nivel se medirá en cada uno de los reactores colocando tres leds a diferente altura. Por lo tanto, estas señales se pueden tratar como digitales.

Esto quiere decir que el dispositivo de adquisición debe de tener un mínimo de diez canales convertidores A/D y tres entradas digitales para realizar la adquisición. Además, se busca que el sistema de monitorización cuente con una etapa de automatización. Los equipos que se quieren controlar son las bombas de llenado y de recirculación y un regulador de pH. Por lo que, también debe contar con tres salidas como mínimo.

CAPÍTULO 5. TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS

Aún cuando existen sistemas globales e individuales fabricados específicamente para construir sistemas de monitorización remota, éstos se pueden construir utilizando distintas herramientas tecnológicas como las que se proponen en este capítulo.

De acuerdo a los requerimientos de la planta ya mencionados, no se toma en cuenta la etapa de medición electrónica de los parámetros de operación en el análisis y propuesta de tecnologías. Además, considerando que sin importar el tipo de equipo de adquisición y software que se utilice, el equipo de cómputo es indispensable, la propuesta de éste y las características que deba de poseer se definirán hasta que se determine cuales serán las tecnologías a emplear.

5.1 TECNOLOGÍAS PROPUESTAS

Las siguientes tecnologías se proponen tomando en cuenta las oportunidades de desarrollo y la familiarización que los alumnos de la Facultad de Ingeniería tienen con ellas. Tal es el caso de los programas MATLAB y LabVIEW

5.1.1 Hardware

a) Microprocesadores y microcontroladores

Los microprocesadores son circuitos integrados formados por transistores que permiten o impiden el paso a señales eléctricas según una lógica establecida. Se componen por una unidad de control, una unidad aritmética lógica (ALU: Arithmetic and Logic Unit) y una serie de registros. En la Figura 5.1 se muestra la estructura interna de un microprocesador y la comunicación entre sus componentes. En la ALU se encuentran los circuitos para realizar operaciones aritméticas y lógicas elementales con los datos binarios. La ejecución de las instrucciones de se realiza de forma secuencial. Su desarrollo se ha orientado al mercado de los ordenadores personales y las estaciones de trabajo en donde se requiere una potencia de cálculo elevada, el manejo de una cantidad de memoria grande y una velocidad de procesamiento alta. La cantidad de bits que pueden procesar de manera simultánea está determinada por el tamaño de sus registros internos (Valdés y Pallás, 2007).

Los microcontroladores son circuitos integrados compuestos por tres elementos fundamentales: la Unidad Central de Proceso (CPU: Central Processing Unit), la memoria y una unidad de entrada y salida. En la Figura 5.2 se muestra la estructura de un microcontrolador. Entre ellos se comunican mediante líneas eléctricas denominadas buses. Existen tres tipos de éstos: de direcciones,

transportan direcciones de memoria o de entrada y salida; de datos, transportan datos e instrucciones; y de control, transportan distintas señales de control. El CPU es un microprocesador encargado de traer las instrucciones del programa almacenado en la memoria, interpretarlas y ejecutarlas. Los microcontroladores están concebidos para ser sistemas embebidos, es decir, para realizar tareas puntuales. Sus aplicaciones van desde la automoción, telefonía, equipos médicos e industriales, electrodomésticos, juguetes, etc. En cada una de ellas el microcontrolador ejecuta un programa almacenado permanentemente en su memoria, el cual trabaja con algunos datos guardados temporalmente e interactúa con el exterior a través de sus líneas de entrada y salida. Para aplicaciones que requieran de mayor potencial, se utilizan varios microcontroladores con tareas específicas (Valdés y Pallás, 2007).

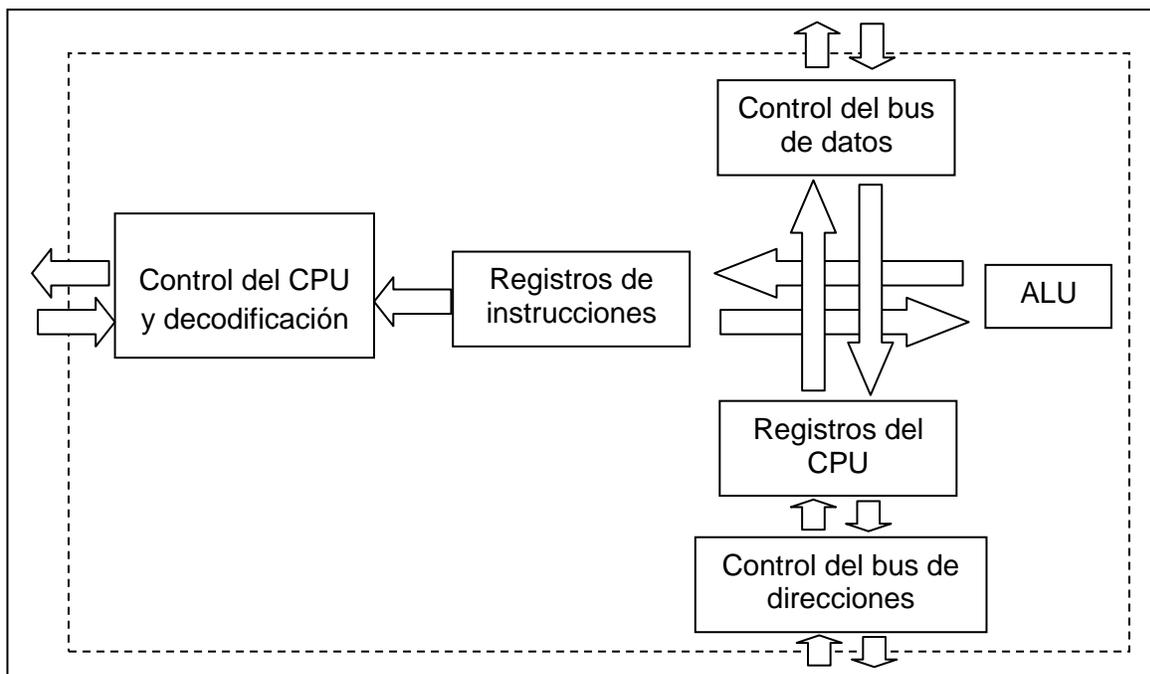


Figura 5.1 Estructura interna de un microprocesador (Valdés y Pallás, 2007)

Los microcontroladores de un mismo tipo forman una familia que por lo general tienen el mismo núcleo, es decir, la misma CPU y ejecutan la misma biblioteca de instrucciones. Lo que los diferencia es la capacidad de memoria y los puertos de entrada y salida. Tanto los microprocesadores como los microcontroladores se fabrican como circuitos integrados independientes. Sin embargo, el núcleo del procesador puede estar embebido en un circuito integrado de alta escala de integración, cuya función es configurable por el usuario. Tal es el caso de los FPGA (Field Programmable Gate Array), que son un subconjunto de los llamados

Dispositivos Lógicos Programables (PLD: Programmable Logic Devices). Estos últimos, son microcontroladores o microprocesadores configurables, es decir, el usuario puede programar conexiones internas para establecer la cantidad de memoria y los puertos de entrada y salida a utilizar, según las necesidades específicas que tenga (Valdés y Pallás, 2007).

b) PIC

Un Controlador de Interfaz Periférico (PIC: Peripheral Interface Controllers) es un microcontrolador con una pequeña cantidad de instrucciones. Entre 35 y 77. Cuando el total de instrucciones está entre estas cantidades, se dice que el microcontrolador tiene una arquitectura tipo RISC (Reduced Instruction Set Computing). Todas las instrucciones son del mismo tamaño, una palabra de 12, 14 ó 16 bits. La ejecución de las instrucciones se realiza en dos etapas en un sólo ciclo, equivalente a cuatro pulsos del oscilador principal del microcontrolador. El modelo general de los PIC consta de un registro de trabajo y de los registros de la memoria de los datos. Parte de estos últimos se conocen como registros de funciones especiales y son los encargados de permitir el acceso a los diversos puertos de entrada y salida. Las operaciones internas se desarrollan de acuerdo a los pulsos generados por un oscilador principal (Valdés y Pallás, 2007).

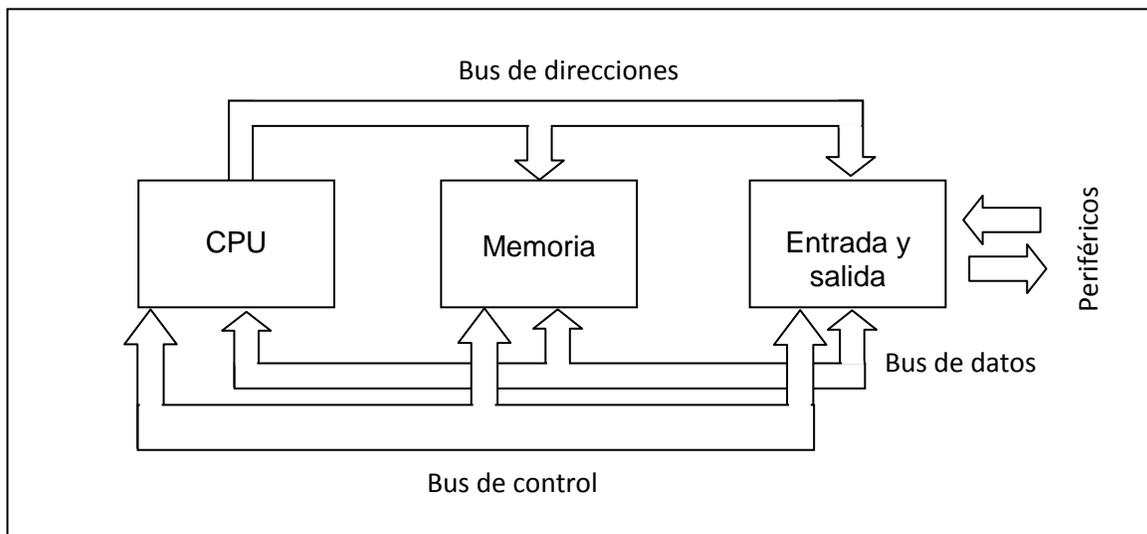


Figura 5.2 Estructura de un microcontrolador (Valdés y Pallás, 2007)

Una característica particular de los PIC es que la pila no forma parte de la memoria de datos, sino que ocupa un espacio independiente y tiene una capacidad limitada, según el modelo que se utilice. Además, no poseen ningún registro apuntador a pila, conocido como Stack Pointer, y que es muy común tanto

en microprocesadores como en microcontroladores. Tienen puertos paralelos de 8 bits, temporizadores, puertos serie sincrónicos y asincrónicos, convertidores A/D y D/A y moduladores de ancho de pulso (Valdés y Pallás, 2007).

c) Tarjetas de desarrollo

Son tarjetas con circuitos electrónicos acondicionados para el desarrollo de programas en microcontroladores, lo que permite a los usuarios enfocarse más en los programas a elaborar que en la adaptación de circuitos eléctricos para establecer comunicación con éstos y protegerlos. La programación se realiza desde una computadora al conectar la tarjeta que los incluye. Generalmente el bus de comunicación es un USB. Cuentan con puertos de comunicación y osciladores propios. Además, la mayoría tiene terminales específicas que pueden ser habilitadas para dotar al sistema que se desarrolle con herramientas auxiliares como leds, potenciómetros y sensores. Se utilizan para desarrollar programas prototipo y hacer pruebas finales a los microcontroladores. Regularmente son diseñadas para trabajar con microcontroladores de varias familias o de una marca específica.

5.1.2 Software

Aplicaciones

En la actualidad, el término *aplicaciones* o “Apps”, se refiere a programas que realizan tareas específicas y que están diseñados para trabajar en teléfonos móviles o en dispositivos electrónicos portátiles. La facilidad de adquisición, portabilidad y operación de éstas ha provocado el desarrollo de aplicaciones en grandes cantidades para realizar tareas, desde muy comunes hasta complejas o novedosas. Las principales plataformas para el desarrollo de aplicaciones son iOS y Android.

a) Aplicaciones y programas para el acceso remoto

Estos programas son desarrollados para tener acceso a equipos de cómputo de forma remota desde otras computadoras o desde dispositivos electrónicos móviles como teléfonos celulares. Su función principal consiste en “abrir una puerta” a un usuario remoto. La computadora a la que se tiene acceso se denomina *host*. Para que los archivos y programas alojados en el host puedan ser utilizados o consultados, se requiere que algún software de este tipo esté instalado en él, además de tener conexión a internet. Ésta puede ser inalámbrica o vía Ethernet. Los dispositivos utilizados para tener acceso se denominan *clientes*. A la comunicación establecida entre ambas partes se le conoce como host-cliente.

b) Almacenamiento en la nube

Se le llama así al almacenamiento de información en programas o aplicaciones de internet que funcionan como archiveros. La disponibilidad de éstos depende tan sólo de la conexión a internet. Algunas aplicaciones permiten compartir carpetas o tan sólo documentos entre varios usuarios, así como la colaboración para editar y agregar material. Por lo regular, todas las aplicaciones ofrecen un espacio de almacenamiento libre.

5.2 ANÁLISIS DE OPCIONES DENTRO DE LAS TECNOLOGÍAS PROPUESTAS

Para cada una de las tecnologías propuestas en la primera parte de este capítulo, tanto de hardware como de software, se analizan las opciones específicas que pueden ser parte del sistema de monitorización remota.

5.2.1 PIC 18F2455/2550/4455/4550

Debido a su capacidad en memoria RAM para almacenamiento de información, son recomendables para sistemas embebidos de control y aplicaciones de monitorización que requieren establecer comunicación periódica con una computadora personal vía USB para la adquisición y envío de datos. La familia de PIC's 18F puede ser programada lenguajes de programación como C, LabVIEW, lenguaje ensamblador o en distintos entornos de programación para PIC's. La Tabla 5.1 menciona las características principales de esta familia.

Tabla 5.1 Características principales de la familia PIC 18F (Microchip, 2009)

Familia	Modelo	Características
18F	18F2455	- Hasta 13 canales convertidores A/D de 10 bits
	18F2550	- 40 terminales. Hasta 35 terminales de entrada y salida
	18F4455	- Tiempo de adquisición programable
	18F4550	- Rango de voltaje de operación de 2.0 a 5.5 V
		- Registro Watchdog Timer programable
		- Memoria programable Flash de hasta 32 KB
		- Hasta 3 temporizadores de 8 o 16 bits
		- 2 comparadores y 2 osciladores
		- Hasta 2 terminales para PWM
		- Comunicación USB 2.0
		- Velocidad de comunicación de 1.5 a 12 Mb/s
		- Rango de temperaturas -40 a 85°C
		- Velocidad de operación a 48 MHz

5.2.2 Microcontrolador ATmega8

Atmel es una compañía estadounidense líder en el diseño y manufactura de microcontroladores y componentes de radiofrecuencia, entre otros ramos, fundada en 1984. Actualmente es una de las 3 empresas más importantes en el mundo. Para aplicaciones relacionadas con automatización a nivel industrial y adquisición de datos cuenta con el microcontrolador ATmega8. Para la programación de estos microcontroladores la compañía desarrolló un entorno de programación propio con compiladores para C y C++, aunque también se pueden programar en otros lenguajes. En el Instituto de Tecnología King Mongkut's de Bangkok, Tailandia, se utilizó éste junto a un software desarrollado por ellos mismos para la creación de su propio sistema global de adquisición de datos. La Tabla 5.2 menciona las características principales de las familias de microcontroladores de esta compañía.

5.2.3 Microcontroladores y tarjetas de desarrollo de Texas Instruments

Es una compañía global especializada en la manufactura y diseño de dispositivos semiconductores como procesadores digitales de señales, productos embebidos y microcontroladores. La Tabla 5.3 menciona las características principales de las familias de microcontroladores desarrolladas por Texas Instruments.

LaunchPad es una herramienta de desarrollo y evaluación exclusiva para los dispositivos MSP-430 value line de Texas Instruments. Los componentes de la tarjeta y su diseño están enfocados a dar una introducción al usuario y programador a los microcontroladores. El entorno de programación es Code Composer Studio y es desarrollado por la misma empresa. En la Tabla 5.4 se muestran las tarjetas de desarrollo desarrolladas por Texas Instruments.

5.2.4 Tarjetas de desarrollo Arduino

Arduino, proyecto iniciado en Italia a principios del presente siglo, es una herramienta de código abierto basada en una tarjeta con un microcontrolador y en un entorno de programación para desarrollar programas en ella. Se utiliza para adquirir señales provenientes de interruptores o sensores y controlar luces, motores, actuadores, etc. Los sistemas desarrollados en Arduino pueden operar por sí solos o establecer comunicación con software en un equipo de cómputo. Las tarjetas pueden ser construidas por el usuario o adquirirse ya ensambladas. El software de programación se descarga de manera gratuita. Los microcontroladores en los que se basa son ATmega. En la Tabla 5.5 se muestran algunas de las familias principales de las tarjetas de desarrollo Arduino.

Tabla 5.2 Características principales de las familias de microcontroladores de ATmel (Atmel, 2011)

Familia	Modelo	Características
<p>8 bit Atmel</p>	<p>ATmega 48/V ATmega 88/V ATmega 168/V</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Arquitectura RISC - Hasta 14 canales convertidores A/D - 23 terminales programables para entrada y salida - Rango de voltaje de operación 1.8 a 5.5. V - Memoria programable Flash de hasta 16 KB - 2 contadores/temporizadores de 8 bits - Registro Watchdog Timer programable - 6 canales para PWM - Rango de temperaturas -40 a 85°C - Velocidad de operación 4MHz - Hasta 64 canales con sensores “touch” - 5 modos de suspensión
<p>8 bit AVR</p>	<p>ATmega 8 ATmega 8L ATmega48PA ATmega88PA ATmega168PA ATmega328P</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Arquitectura RISC - Hasta 14 canales convertidores A/D - 23 terminales programables para entrada y salida - Rango de voltaje de operación 2.7 a 5.5. V - Memoria programable Flash de hasta 8 KB - 2 contadores/temporizadores de 8 bits Registro Watchdog Timer programable - 3 canales para PWM - Rango de temperaturas -40 a 85°C - Velocidad de operación 0 a 16 MHz - 5 modos de suspensión

5.2.5 MATLAB

Es un software matemático con un lenguaje de programación propio de alto nivel conocido como *lenguaje M*. Está disponible para las plataformas Unix, Windows y Mac OS X. Se puede aplicar para el procesamiento de señales e imágenes, comunicaciones, diseño de control, mediciones, modelado financiero, adquisición de datos, etc. Cuenta con una aplicación para establecer comunicación entre hardware de adquisición de datos y la computadora y despliegue de datos

adquiridos. Es posible crear interfaces gráficas de usuario personalizadas, tiene herramientas para hacer cálculos algebraicos matriciales, análisis estadístico, integración numérica, así como gráficas de dos y tres dimensiones.

Tabla 5.3 Familias principales de microcontroladores de TI y sus características (TI, 2012)

Familia	Modelo	Características
MSP430	MSP430F1xx MSP430F2xx MSP430G2xx MSP430AFE2xx MSP430F4xx MSP430F5xx MSP430F6xx C430	<ul style="list-style-type: none"> - Arquitectura RISC - Hasta 12 canales convertidores A/D de 12 bits - Velocidad de operación entre 8 y 25 MHz - Hasta 25 relojes - Hasta 30 canales para PWM - 256 KB de memoria FLASH - Hasta 18 KB de RAM - Comunicación vía USB, UART y I²C - Terminales para aplicaciones “touch”
C200	Piccolo Delfino Concerto	<ul style="list-style-type: none"> - Arquitectura Harvard - Hasta 24 canales convertidores A/D de 12 bits - Tiempo de conversión A/D hasta 80 ns - Velocidad de operación entre 40 y 300 MHz - Hasta 25 relojes - Hasta 30 canales para PWM - 1 MB de memoria FLASH - Hasta 516 KB de RAM - Terminales para comunicación múltiples: Ethernet, USB, CAN, UART, I²C
Hercules	RM4xL TMS570LS TMS470M	<ul style="list-style-type: none"> - Hasta 24 canales convertidores A/D de 12 bits - Velocidad de operación entre 80 y 200 MHz - Hasta 14 canales para PWM - 2 MB de memoria FLASH - Hasta 256 KB de RAM - Terminales para comunicación múltiples: Ethernet, USB, CAN, UART, I²C - Rango de temperaturas -40 a 125°C

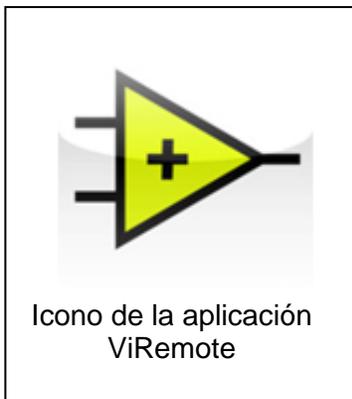
Tabla 5.4 Tarjetas de desarrollo de Texas Instruments y sus características principales (TI, 2012)

Familia	Modelo	Características
Launchpad	MSP430 Stellaris C200	<ul style="list-style-type: none"> - Operan con los microprocesadores de la familia correspondiente a cada modelo - Hasta 12 canales de conversión A/D a 12 bits - Hasta 40 terminales - Velocidad de operación de hasta 80 MHz - Memoria Flash de hasta 256 KB - Memoria RAM de hasta 32 KB - Puertos UART, SPI, CAN, I²C y USB

5.2.6 Aplicaciones

En seguida se presentan aplicaciones tanto de almacenamiento de información en la nube como de acceso remoto.

a) Vi Remote



Es una aplicación oficial de la marca National Instruments desarrollada para funcionar con dispositivos Apple. Sirve para tener acceso a un programa de Labview de forma remota. Requiere la IP y puerto del equipo de cómputo en el cual se está ejecutando dicho programa para tener acceso a él. A través de esta aplicación es posible ver el comportamiento de los indicadores. También se pueden dar diferentes entradas por medio de los controladores que existan en el panel frontal.

b) CrossLoop

CrossLoop es una compañía dedicada al acceso remoto entre equipos de cómputo, recientemente involucrado en temas de dispositivos móviles con sistema operativo Android. Sigue el mismo principio de host-cliente. Cuenta con una versión gratuita llamada "Screen Sharing" y otra semi-gratuita llamada "Remote Access" que además de las ventajas anteriores incluye la posibilidad de apagar y reconectarse al host. Es compatible con las recientes versiones de Windows y OS X, respectivamente.

Tabla 5.5 Tarjetas de desarrollo de Arduino y sus características principales (AGE, 2012)

Familia	Modelo	Características
Arduino Uno	R3 R2 SMD Uno	<ul style="list-style-type: none"> - Microcontrolador ATmega 328 - Voltaje de operación 5 V - Rango de voltajes de entrada 6 a 20 V - 14 terminales (entrada/salida) digitales - 6 terminales para entradas analógicas a 10 bits - 32 KB de memoria FLASH - 2 KB en RAM - Velocidad del reloj de 16 MHz - Conexión USB
ADK	Mega R3	<ul style="list-style-type: none"> - Microcontrolador ATmega 2560 - Voltaje de operación 5 V - Rango de voltajes de entrada 6-20 V - 54 terminales (entrada/salida) digitales - 16 terminales para entradas analógicas - 256 KB de memoria FLASH - 8 KB en RAM - Velocidad del reloj de 16 MHz - Conexión USB
Ethernet	-	<ul style="list-style-type: none"> - Microcontrolador ATmega 328 - Voltaje de operación 5 V - Rango de voltajes de entrada 6-20 V - Rango de voltaje a través del cable Ethernet 36-57 V - 14 terminales (entrada/salida) digitales - 6 terminales para entradas analógicas - 32 KB de memoria FLASH - 2 KB en RAM - Velocidad del reloj de 16 MHz - Conexión RJ45

c) LogMeIn



LogMeIn es una empresa Húngara creada en 2003. Se especializa en el desarrollo de software para el acceso remoto de computadoras a través de distintos dispositivos electrónicos móviles, utilizando una conexión a internet. Su programa host lleva el mismo nombre y tiene una versión gratuita y otra de pago. El acceso se puede hacer de las siguientes maneras: iniciando sesión desde la página principal y acceder desde ésta o desde LogMeIn Central al host o mediante las aplicaciones diseñadas para teléfonos celulares y demás dispositivos

electrónicos que tengan iOS o Android como sistemas operativos. Es compatible con Windows y Mac OS.

d) TeamViewer



TeamViewer GmbH es una empresa Alemana fundada en 2005. Siguiendo el protocolo host-cliente, es una de las aplicaciones más conocidas para el acceso remoto a equipos de cómputo. Sus programas permiten el control remoto, juntas en línea, conferencias web, transferencia de archivos y compartir la ventana de trabajo de los equipos de cómputo participantes. Es gratuito para usuarios domésticos y tiene una versión de pago con funcionalidades extras para empresas. Es compatible con Windows, OS X, Linux, iOS y Android.

e) Google Drive



La aplicación Google Drive permite archivar documentos en la Web para un fácil acceso a ellos. Basta con instalar la aplicación en un ordenador o dispositivo móvil para tener acceso desde otros dispositivos a través Internet y mantenerlos sincronizados. Si se cambia algo en un dispositivo, se cambia en todos. Google Drive permite seleccionar quién tiene acceso a los archivos. Es compatible con sistemas operativos de Windows, Mac OS y Android.

f) SkyDrive



Skydrive es una aplicación a través de la cual se puede tener acceso a documentos desde otros equipos de cómputo. Al instalar la aplicación de Skydrive se crea una carpeta que alberga documentos. Éstos se sincronizan continuamente en todos los dispositivos que tengan acceso a la carpeta mientras haya conexión a internet. Es compatible con sistemas operativos de Windows, Mac OS y Android.

g) DropBox



Dropbox es un servicio gratuito que permite disponer de fotos, documentos y vídeos en cualquier parte. Cualquier archivo que se guarde en tu Dropbox puede ser consultado desde otros ordenadores o dispositivos móviles con acceso a Internet. Es compatible con sistemas operativos de Windows, Mac OS, Android y dispositivos BlackBerry.

CAPÍTULO 6. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS

6.1 TECNOLOGÍAS PROPUESTAS

En seguida se enlistan las herramientas tecnológicas propuestas para la construcción del sistema de monitorización remota:

- Adquisición de datos: **Tarjeta de desarrollo Arduino Uno**
- Procesamiento y despliegue de la información: **Software LabVIEW**
- Acceso remoto: **Aplicación LogMeIn**
- Disponibilidad de la información: **Aplicación SkyDrive**
- Equipo de cómputo: **Laptop con sistema operativo Windows 7**

La propuesta se hace considerando: 1) los requerimientos mínimos de la planta de biogás de Ciudad Universitaria, 2) las medidas de seguridad generales que se deben tener dentro de ella, 3) los fines energéticos para los que fue construida, 4) el costo, 5) las ventajas ofrecidas por los sistemas en el mercado y 6) los requerimientos del MDL.

6.1.1 Características de selección

A continuación se enlistan las razones principales por las cuales se eligieron las herramientas tecnológicas propuestas, en comparación con las otras opciones que podrían utilizarse también para realizar la misma tarea.

Tarjeta Arduino

Características de operación:

a) Resolución

La resolución de la tarjeta Arduino es de 10 bits. Esto quiere decir que tiene 1024 niveles. Considerando un rango de operación de la tarjeta de 5 V,

$$\frac{5 \text{ V}}{1024 \text{ niveles}} = 0.004882 \text{ V/nivel}$$

se tendrían 1024 niveles de ~5mV cada uno. Es decir, con una resolución de 10 bits, la tarjeta identificará cambios en el voltaje de aproximadamente 5mV. Es decir, si la tarjeta recibe una señal analógica de 7.510 V, la señal digitalizada será de 7.510 V, hasta que haya una variación en el voltaje de entrada. Si la señal analógica cambia a 7.512 V la señal digitalizada será de 7.515 V. En la figura 6.1 se muestra un ejemplo de una señal digitalizada con esta resolución.

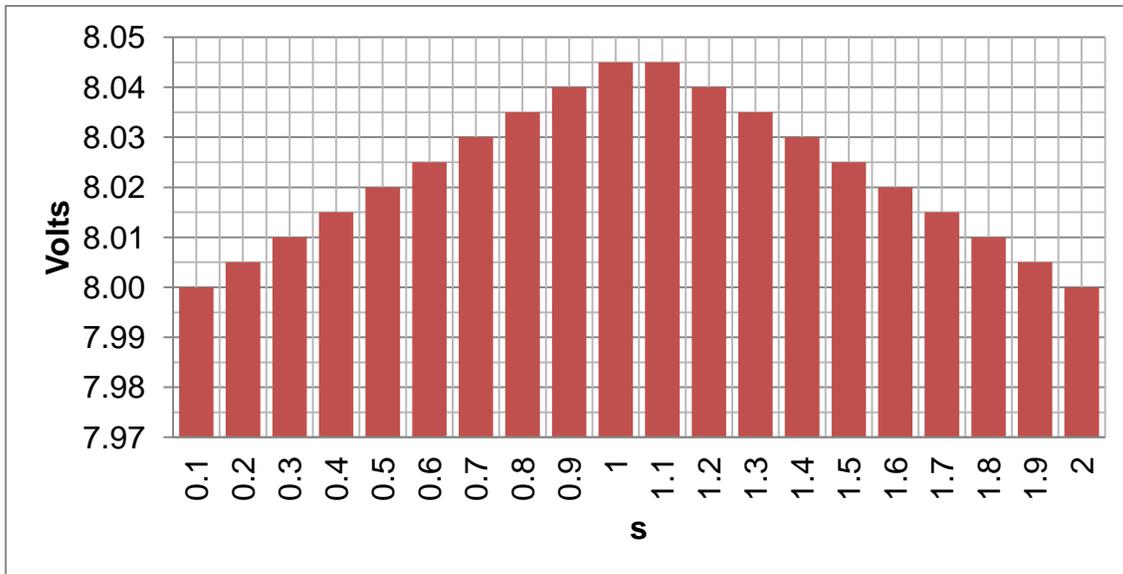


Figura 6.1 Señal analógica digitalizada con una resolución de 10 bits

b) Capacidad de transmisión

El bus de comunicación que utiliza la tarjeta Arduino Uno es el USB 2.0. La capacidad de transmisión de este bus es de 480 Mb/s. La tarjeta digitalizará cinco señales analógicas, por lo que utilizará cinco canales analógicos con una resolución de 1024 b/s cada uno. Además, cada uno de los tres leds que indican el nivel en los reactores representa un bit. En caso de que los tres leds estén encendidos, en un segundo se tienen:

$$5(1024) + 3 = 5111\text{b/s} \sim 5\text{Mb/s}$$

La máxima cantidad de bits que la tarjeta Arduino Uno puede enviar en un segundo es mucho menor que la capacidad de envío del USB 2.0, por lo que se descartan problemas de saturación en el envío de información a través del cable de la tarjeta.

c) Frecuencia de muestreo

La velocidad de operación del microcontrolador determina la frecuencia con que realiza las operaciones de manera cíclica. Por lo tanto, influye en la cantidad de muestras por segundo a la que se puede digitalizar una señal. La velocidad de operación del microcontrolador que utiliza la tarjeta Arduino Uno es de 16 MHz. Es decir, las señales analógicas serán muestreadas 16 millones de veces en un segundo.

Ninguno de los parámetros de operación tiene variaciones en su comportamiento que produzca señales con frecuencias que alcancen el orden de MHz. Por lo

tanto, la frecuencia de muestreo de la tarjeta Arduino Uno es suficiente para convertir las señales analógicas en digitales con alta precisión.

- Cuenta con el suficiente número de entradas y salidas para cubrir los requerimientos.
- El microprocesador utilizado no necesita circuito de acondicionamiento para su protección y uso. Utilizar un PIC sí.
- Utiliza microchip de la compañía ATmel.
- Es portable.
- Es una tecnología usada ampliamente. Por lo tanto, el soporte que brinda el fabricante es amplio.
- Su bus de conexión (USB) es prácticamente compatible con cualquier equipo de cómputo.
- El microprocesador puede programarse en lenguaje ensamblador, con el software de Arduino o con programas externos como LabVIEW y MatLab. Para los microcontroladores de Texas Instruments o los PIC's propuestos, la programación puede hacerse mediante distintos programas, sin embargo, la comunicación y compatibilidad entre los componentes puede representar un trabajo complicado y amplio.
- Es compatible con los sistemas operativos Windows, MacOS y Linux. Por lo tanto, la instalación de los controladores de la tarjeta en cualquier sistema operativo es sencilla.
- Su costo es bajo en comparación con las tarjetas de adquisición
- En comparación con las tarjetas de Texas Instruments, ésta puede ser alimentada por una computadora a través del USB o con alguna fuente externa, por ejemplo, una batería
- Permite utilizar todos los puertos de comunicación del microprocesador mediante programación de la tarjeta.
- Se puede reiniciar de manera física o mediante software. Si se utilizara el PIC, esto sería posible sólo mediante programación.
- La tarjeta protege al equipo de cómputo ante descargas de descargas de corriente.
- Las tarjetas de Texas Instruments tienen que ser configuradas para establecer comunicación con software de programación que no sea propio de la compañía
- Las tarjetas de Arduino son muy fáciles de conseguir en el mercado nacional. Las tarjetas de Texas Instruments tienen que pedirse a la matriz en Estados Unidos.

LabVIEW

- Es un programa especializado en la adquisición de datos y despliegue de información. Aunque MatLab puede desplegar gráficas, está más enfocado a realizar cálculos matemáticos.
- La programación en bloques es intuitiva. La programación en MatLab se hace mediante instrucciones específicas.
- La interfaz gráfica se construye conforme se realiza la programación. No es necesario recurrir a lenguajes de programación o librerías externas para crear una interfaz gráfica de usuario.
- Es posible almacenar la información en formatos convenientes para su análisis estadístico en programas como Excel. Con MatLab también se pueden almacenar datos en hojas de cálculo, sin embargo, se hace mediante código de línea, con una gramática específica. Con LabVIEW las hojas de cálculo se crean mediante la conexión de bloques previamente programados.

LogMeIn

- La versión gratuita es suficiente para realizar las tareas mencionadas.
- Es compatible con distintos sistemas operativos y tiene versiones para la mayoría de los dispositivos electrónicos en el mercado. La aplicación “VI Remote de NI” sólo es compatible con equipos que operen con iOS de Apple.
- La computadora se puede encender de manera remota. Con las aplicaciones “TeamViewer” y “CrossLoop” no es posible hacer esto.

SkyDrive

- La capacidad de almacenamiento que ofrece en su versión gratuita es mayor que las de DropBox y Google Drive.
- Los archivos pueden ser consultados aún cuando no haya conexión a internet en las aplicaciones para escritorio.

Laptop

- Es portable. Esto permite que la computadora se pueda transportar fácilmente de la planta al laboratorio en caso de ser necesario.
- Su consumo de energía es menor que una PC de escritorio.
- El tamaño de la pantalla facilita la visualización del instrumento virtual y la información que se despliegue. En una Netbook esta tarea se complicaría
- En la planta no hay condiciones extremas de operación, por lo que no es necesario un equipo industrial.

- El sistema operativo Windows es uno de los sistemas con los que los usuarios se encuentran más familiarizados. La versión propuesta considera los requerimientos de los programas para operar.

6.1.2 Forma de operación

La instalación del sistema de monitorización consta de dos partes. La primera está relacionada con el acondicionamiento de las señales provenientes de los sensores; y la segunda con la instalación de los programas y aplicaciones en la computadora que funcionará como host.

Para el acondicionamiento de las cinco señales analógicas es necesario su análisis una vez que los sensores estén instalados y en operación. Con base en este se determina qué tipo de circuitos son los necesarios. Como se mencionó en el segundo capítulo, estos pueden ser amplificadores, atenuadores o filtros de ruido. Las señales analógicas acondicionadas se introducen a la tarjeta Arduino en las terminales correspondientes (A0-A5). Las señales digitales provenientes de los indicadores de nivel se conectan a tres de las terminales digitales (1-13).

En el host se instalan los programas LabVIEW, LogMeIn y la aplicación de escritorio de SkyDrive. Al instalar LogMeIn es necesario establecer una contraseña y una clave de acceso remoto al host. Por ejemplo:

Nombre del equipo: PlantaCibarium

Clave de acceso al equipo: PBFUNAM

En las Figura 6.1 y 6.2 se muestra un diagrama de la conexión y operación del sistema propuesto. Cuando el sistema de monitorización remota está completamente instalado, la forma en la que opera es la siguiente:

- La computadora tiene el programa de LabVIEW en operación.
- La tarjeta Arduino recibe las señales de los sensores, las convierte en digitales y las envía al host por medio del USB.
- El host despliega la información al usuario mediante un instrumento virtual programado en LabVIEW.
- LabVIEW escribe y almacena en un documento de Excel los datos numéricos adquiridos.
- Este documento se guarda manualmente dentro de una carpeta en la aplicación de escritorio de SkyDrive.
- Los usuarios acceden de manera remota al host por medio de la aplicación LogMeIn, seleccionando el equipo e introduciendo la clave de acceso al

mismo. Los documentos se consultan en el host o directamente en la página de internet de SkyDrive

- Los usuarios cierran su sesión cuando hayan terminado su consulta. La aplicación de LogMeln continúa corriendo en el host.

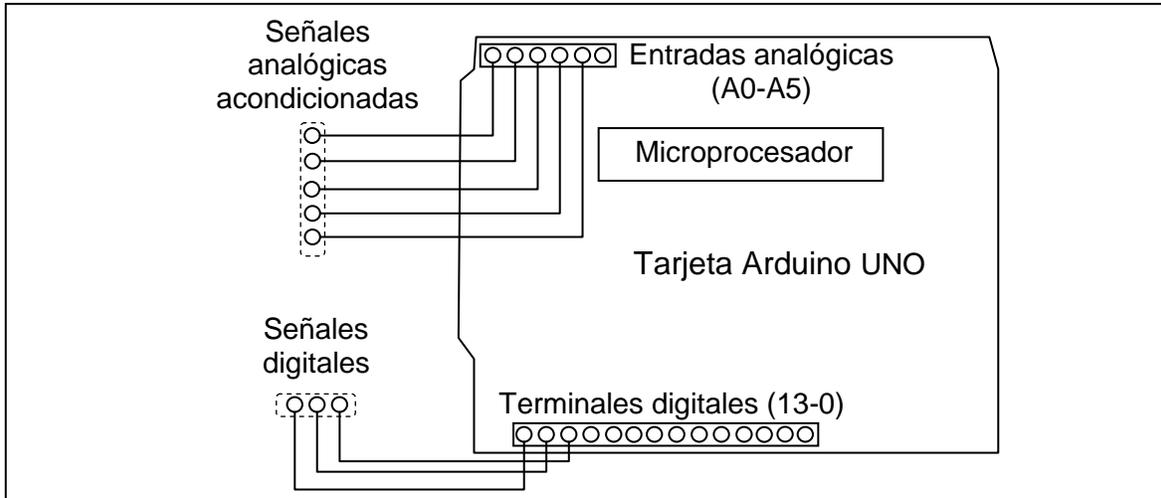


Figura 6.2 Diagrama de conexión de la tarjeta Arduino Uno

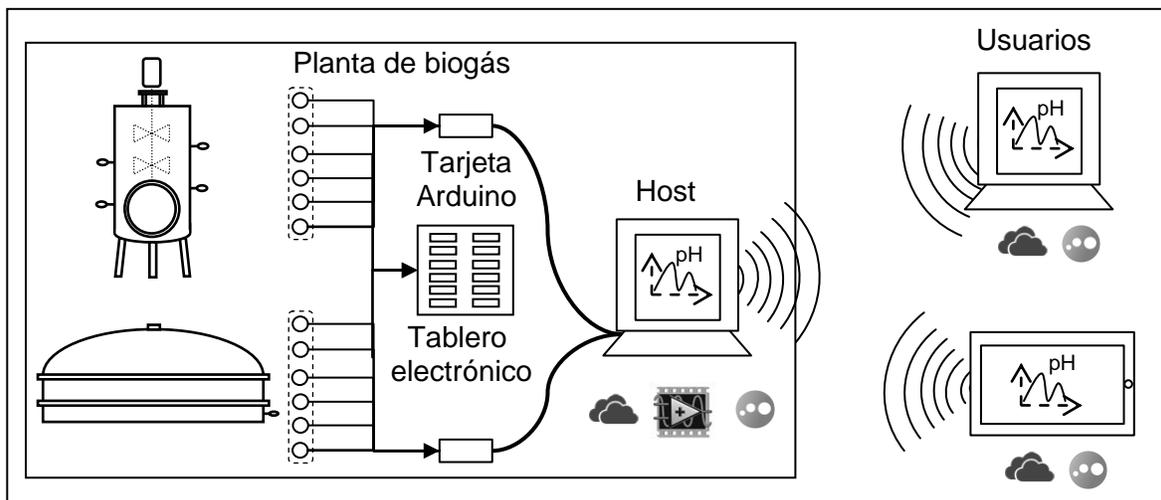


Figura 6.3 Diagrama de conexión y operación del sistema propuesto

6.1.3 Requerimientos del sistema propuesto

Para el funcionamiento y operación del sistema de monitorización remota, se deben de tomar en cuenta los siguientes requerimientos:

- Acondicionamiento de las señales para que estén dentro del rango de voltajes
- Conexión a Internet en la planta

- Conexión del host a Internet mediante Ethernet
- Una cuenta de correo electrónico para acceder a las aplicaciones de SkyDrive y LogMeIn.
- Con base en los requerimientos de las aplicaciones y de LabVIEW, y considerando además que el sistema operativo seleccionado es Windows, la computadora debe de tener las siguientes características:
 - 10 GB de disco duro como mínimo
 - Procesador Pentium IV o posterior, 1.6 GHz de velocidad
 - 1 GB de RAM como mínimo
 - Windows 7 / 64 bits
 - Windows Server 2008
 - Dos puertos USB
 - Puerto Ethernet

6.1.4 Recomendaciones

Los fabricantes de Arduino recomiendan que los voltajes de las señales analógicas que se conectan a la tarjeta sean entre 7 y 12 V (AGE, 2012).

Tener una cuenta de correo con dominio msn, live o Hotmail. Con esto se cumple el requisito para utilizar SkyDrive. Para utilizar LogMeIn no es indispensable que la cuenta sea de algún dominio específico.

Habilitar la opción para que LogMeIn arranque automáticamente al mismo tiempo que se enciende la máquina.

Configurar LabVIEW para que haga un registro de la información leída cada cinco minutos en un documento de Excel.

Programar alarmas, auditivas y/o visuales, para los siguientes casos:

- cuando las concentraciones de metano estén entre el rango de explosividad
- cuando el contenido de los reactores alcancen el nivel más alto
- cuando las presiones sean altas
- cuando el pH no sea neutro

6.1.5 Ventajas y desventajas del sistema propuesto

El sistema de monitorización remota propuesto se conforma por tecnologías de distinta naturaleza y equipos de distintas marcas. Esto permite que dicho sistema presente ventajas al operar en conjunto. Sin embargo, podría ser que las carencias de cada una de las tecnologías provocaran una operación ineficiente, y

por lo tanto, que no se lograran los objetivos de monitorización remota. En seguida se enuncian las ventajas y desventajas del sistema propuesto.

Ventajas:

- La compatibilidad de tecnologías permite establecer una comunicación sencilla y eficaz. LabVIEW desarrolló una librería especial para establecer comunicación de manera sencilla con los dispositivos de Arduino, debido al gran auge y potencial de estos.
- La compañía Arduino ofrece continuamente nuevas y distintas herramientas auxiliares para el desarrollo de proyectos en su equipo.
- LabVIEW es un software utilizado en la Facultad de Ingeniería. Debido a esto no es necesario comprar las licencias para desarrollar la aplicación de monitorización. Con las licencias académicas es suficiente.
- El uso de LogMeIn evita la necesidad de adquirir un servidor web y las condiciones de compatibilidad entre los sistemas operativos y aplicaciones de los distintos equipos que quieran comunicarse. Para construir un sistema de monitorización remota a partir de tarjetas de adquisición o de controladores lógicos programables como los expuestos en el capítulo tercero, se requeriría de una computadora para desplegar la información al usuario y de un servidor web para poder enviar la información a una red de comunicación a la que los usuarios tuvieran acceso. Dicha computadora demandaría características específicas en cuanto a velocidad de procesamiento y capacidad tanto en memoria RAM como disco duro para poder llevar a cabo ambas tareas de manera óptima. LogMeIn facilita el uso tanto del host, el instrumento virtual y la información almacenada en el equipo de cómputo de manera remota como si se estuviera en la planta. Los usuarios finales pueden hacer uso de esta aplicación desde sus computadoras, teléfonos celulares inteligentes o algún otro dispositivo electrónico.
- La factibilidad de LabVIEW para generar documentos en Excel con características específicas como las requeridas por el MDL.
- Almacenar los documentos generados por LabVIEW en la aplicación de escritorio de SkyDrive, proporciona una medida de seguridad en caso de que el host deje de operar, de que se pierda la conexión con internet o que la aplicación de LogMeIn falle.

Desventajas:

- La resolución de la tarjeta requiere de una etapa de amplificación en las señales producidas por los sensores de metano y de dióxido de carbono.

- Las versiones gratuitas de las aplicaciones suelen tener restricciones de uso. Hablando específicamente de LogMeIn, existe el riesgo de que la quiten del mercado o de que sea obligatorio pagar para contar con el servicio.
- La conexión a internet es indispensable tanto para el host como para los usuarios. En caso de que la conexión falle, el acceso remoto es prácticamente imposible.
- Las aplicaciones dependen de servidores ajenos a los usuarios y operadores de la planta, por lo que, ante algún fallo en ellos se tendría que esperar a que sea compuesto.
- La máxima longitud a la que un cable USB puede transmitir datos de manera óptima es de 5 metros (NI, 2012).

6.2 ANÁLISIS DE COSTOS

En la Tabla 6.1 se muestra el costo del sistema propuesto en comparación con la construcción de uno con las tecnologías convencionales. El costo del equipo de cómputo no se incluye debido a que, sin importar cuál sea la tecnología empleada para la adquisición y despliegue de la información, el uso de éste es indispensable. Debido a que los sensores que se instalarán en esta planta no fueron analizados en este trabajo, tampoco se incluye el costo que estos agregan a la implementación total del sistema. Para cada una de las opciones se toma el costo del equipo más económico y que cubriría los requerimientos de la planta.

Las aplicaciones propuestas no aumentan el costo del sistema debido a que las versiones gratuitas son suficientes para cumplir con las tareas para las que fueron elegidas. Por otra parte, el Departamento de Control de La Facultad de Ingeniería tiene la licencia de National Instruments para el uso del software LabVIEW. Debido a que el sistema de monitorización remota es un proyecto que se realizará dentro de la Universidad, se puede adquirir la licencia para usar el programa en dicho departamento, sin que esto represente un costo extra.

Como se puede observar, el costo del sistema de monitorización propuesto se reduce hasta ocho veces comparado con el uso del PLC SLC 550 (que es el usado en la planta de Toluca), y a la mitad si se compara con uno que use la tarjeta U6 de LabJack.

Tabla 6.1 Costo aproximado de la construcción de un sistema de monitorización remota con las tecnologías analizadas

Opción	Empresa	Costo aproximado	Proveedor
Tarjetas de adquisición	Power Lab - Tarjeta 16/35	\$ 5,295 MXP	(ADInstruments, 2012)
	LabJack – Tarjeta U6	\$ 1,404 MXP	(LabJack, 2012)
	National Instruments – Tarjeta USB de bajo costo (Serie M)	\$ 2,605 MXP	(NI, 2012)
PLC	SLC 550	\$ 5,700 MXP	(Allen-Bradley, 2009)
Sistema propuesto	Tarjeta Arduino Uno (una para cada reactor)	\$ 704 MXP (costo de las dos tarjetas)	(AGE, 2012)

CONCLUSIONES

La implementación de sistemas de monitorización en cualquier proceso debe de proporcionar información valiosa a los operadores para la toma de decisiones que favorezcan al proceso mismo y que conduzcan a la obtención de los fines planteados. Por otra parte, la monitorización remota, permite que las personas involucradas en cierto proceso puedan tener conocimiento de su evolución sin importar su ubicación y que puedan ser participes de dichas decisiones. Cuando se utiliza la digestión anaerobia para producir biogás, la monitorización, remota o no, se vuelve indispensable debido a la facilidad con que dicho proceso puede desestabilizarse ante variaciones en sus parámetros de operación.

Tras describir los distintos riesgos que hay en la operación de una planta de biogás, se afirma que, aún cuando el proceso de producción de biogás puede ser automatizado, se considera necesario el mantenimiento continuo de las instalaciones y la monitorización del proceso para garantizar la eficiencia y productividad de éste, así como la seguridad y salud de las personas que ahí laboren.

Las tecnologías propuestas para construir el sistema de monitorización remota deseado, representan un ahorro económico, una simplificación de recursos tanto de hardware como de software y la incorporación de nuevas formas de comunicación, intercambio de información y trabajo. Con esto se muestra la ventaja de juntar los conocimientos académicos adquiridos dentro de un plan de estudios con las tecnologías y recursos emergentes.

La reducción en el costo del sistema de monitorización remota se basa principalmente en la elección de la tarjeta Arduino para la adquisición de datos y en el aprovechamiento de los servicios tecnológicos gratuitos seleccionados.

La hipótesis se comprueba al demostrar que se puede construir un sistema de monitorización remota de bajo costo, que satisfaga las necesidades de la planta y que puede cumplir con requerimientos de índole industrial, como los del MDL.

REFERENCIAS

AA, 2010. Proyecto de Biogás: Nueva Energía para Santiago. Publicación de Aguas Andinas. Santiago de Chile, Chile.

ABB, 2011. Process control system Freelance. Publicación de Asea Brown Boveri. Zurich, Suiza.

ADInstruments, 2012. Research and Education Products for Data Acquisition Systems. Publicación de ADInstruments. Sydney, Australia.

AGE, 2012. Sistemas Arduino. Publicación de AG Electrónica. México, D.F. México.

Allen-Bradley, 2009. SLC 500 Systems: Bulletin. Publicación de Allen-Bradley y Rockwell Automation. Milwaukee, Estados Unidos.

Atmel, 2011. 8 bit Atmel & AVR Microcontroller. Publicación de Atmel Corporation. San José, California, Estados Unidos.

BENLESA, 2009. Clean Development Mechanism Monterrey II LFG to Energy Project: Monitoring report – Version 01. Reporte elaborado por BENLESA. Monterrey, Nuevo León, México.

Bentec, 2012. Plantas de Biogás. Publicación de Bentec Bioenergies SL. Girona, España.

Bradfer, J. 2002. Riesgos y seguridad en el manejo del biogás en una planta de tratamiento de aguas servidas. En: Memorias del Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, Quintana Roo, México.

Bidlingmaier, W. 2009. Operation. En: Memories from Workshop "Biogas-Plant-technology planning". Beijing, China..

Bliesener, R., Ebel, F., Löffler, C., Plagemann, B., Regber, H. Terzi, E. y Winter, A., 1995. Programmable logic controllers: Learning System for Automation and Communications. Editado por Festo Didactic KG. Esslingen, Alemania.

CCM, 2011. Brindando un mejor futuro: Informe de sustentabilidad 2011. Publicación de la Cervecería Cuauhtémoc Moctezuma. Monterrey, Nuevo León, México.

CDM, 2012. Clean Development Mechanism Methodology: Booklet. Publicación de United Nations Framework Convention on Climate Change. Bonn, Alemania.

Clemens, J. 2009. How to optimize the biogas process according to process control monitoring data in Biogas Plants. En: Memories from Workshop "Biogas-Plant-technology planning". Beijing, China.

CEIM, 2006. Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol. Publicación del Circulo de Innovación en Tecnologías Medioambientales y Energía. Universidad Rey Juan Carlors. Madrid, España.

Deublein, D. y Steinhauser, A. 2008. Biogas from waste and renewable resources: An introduction. Editado por Weinheim: Wiley-VCH. Hesse, Germany.

DOF, 2004. NOM-083-SEMARNAT-2003. Publicación del Diario Oficial de la Federación. México, D.F., México.

EIA, 2012. International Energy Statistics. Publicación de Energy Information Administration. Washington, Estados Unidos.

EB, 2008. The World's largest Biogas Park in Penkun. Publicación de Envitec Biogas GmbH. Hamburg ,Germany.

Guardado, J. 2007. Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas. Editado por Cuba solar. La Habana, Cuba.

Guevara, A. 1996. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales: Producción de gas y saneamiento de efluentes. Publicación del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú,

IDAE, 2007. Biomasa: Digestores anaerobios. Publicación del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, España.

IICA, 2007. Preguntas y respuestas más frecuentes sobre biocombustibles. Publicación del Insituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.

IIUNAM, 2009. Estudio de evaluación de tecnologías alternativas o complementarias para el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos urbanos. Publicación del Instituto de Ingeniería UNAM. México, D.F., México.

INTECO, 2012. Seguridad de los sistemas de monitorización y control de los procesos e infraestructuras SCADA. Publicación del Insituto Nacional de Tecnologías de la Comunicación. Madrid, España.

Jordá, P., García, F. y Onaindía, E. 1998. Diseño e implantación de programas en lenguaje C. Publicación de la Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Jiménez, K. 2010. Tecnologías para el uso de biomasa. Trabajo monográfico de actualización de Ingeniería Química. Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, D.F., México.

Kraft, E. y Bidlingmaier, W. 2009. Conceptual Planning of AD Plants. En: Memories from Workshop "Biogas-Plant-technology planning". Beijing, China.

Lajara, J. y Pelegrí, J. 2011. LabVIEW. Entorno gráfico de programación. Editado por MARCOMBO. Barcelona, España.

LANDTEC, 2012. Brochure for Anaerobic Digester Gas products. Publicación de LANDTEC. California, Estados Unidos.

LabJack, 2012. DAQ Devices. Publicación de LabJack. Estados Unidos, Colorado.

Lagrange, B. 1979. Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation. Vol.2 . Editado por Edisual / Energies. Aix-en-Provence, Francia.

Louden, K. 2004. Lenguajes de programación: principios y práctica. Editado por Ediciones Paraninfo. Madrid, España.

Luostarinen, S., Normak, A. y Edström, M. 2011. Knowledge report: Overview of Biogas Technology. Publicación del Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management. Jokioinen, Finlandia.

Microchip, 2009. Data Sheet PIC18F2455/2550/4455/4550. Publicación de Microchip Technology. Chandler, Arizona, Estados Unidos.

Nakasima, M., Velázquez, N., y Ojeda, S. 2011. Tecnologías para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos del sector residencial y su aprovechamiento como fuente de energía. En: Memorias del IV Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Castellón, España.

NI, 2010. Signal Conditioning. Publicación de National Instruments. Texas, Estados Unidos.

NI, 2012. DAQ Systems. Publicación de National Instruments. Texas, Estados Unidos.

Noyola, A. 1994 Escalado de bioreactores anaeróbicos. Conferencia. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, D.F., México.

NVE, 2007. Renewable energy. Publicación del Norwegian Water Resources and Energy Directorate. Oslo, Noruega.

Olsson, G. 1999. Wastewater Treatment Systems. Modelling, Diagnosis and Control. Editado por Internationa Water Association. Londres, Inglaterra.

Quero, E. 2002. Sistemas operativos y lenguajes de programación. Editado por Paraninfo. Madrid, España.

REN21, 2009. Renewables Global Status Report: 2009 Update. Publicación del Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. París, Francia.

Rettenberger, G. Safety features and equipment for biogas plant. En: Memories from Workshop "Biogas-Plant-technology planning". Beijing, China.

SEDESOL, 2001. Manual técnico-administrativo para el servicio de limpia municipal. Publicación de la Secretaría de Desarrollo Social. México, D.F., México.

SEDESOL, 2011. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. Publicación de la Secretaría de Desarrollo Social. México, D.F., México.

SEMARNAT, 2009. Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012. Publicación de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México.

SENER, 2007. Potenciales y viabilidad del uso de bioetanol y biodiesel para el transporte en México. Publicación de la Secretaría de Energía. México, D. F., México.

SENER, 2010. Programa de introducción de bioenergéticos. Publicación de la Secretaría de Energía. México, D. F., México.

SIMEPRODE, 2007. Monterrey III: Proyecto de ampliación de generación eléctrica a través de basura. Publicación de Sistema Integral para el Manejo Ecológico y Procesamiento de Desechos. Nuevo León, México.

Speece, R. 1983. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatments. Publicación de la American Chemical Society. Filadelfia, Estados Unidos.

Steiglechner, J., y Schulz, V. 2011. Safety Solutions Tailored to Biogas Plants. ***Biomass Magazine***.

TI, 2012. Texas Instruments Microcontrollers. Publicación de Texas Instruments. Dallas, Texas, Estados Unidos.

Valdés, F. y Pallás, R. 2007. Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con PIC. Editado por MARCOMBO. Cataluña, España.

Valentinuzzi, F. 2000. Biocombustibles líquidos. ***Ecomagazine***.

Varnero, M. y Arellano, J. 1990. Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Publicación del Ministerio de Agricultura. Santiago de Chile, Chile.

Varnero, M. 2011. Manual de biogás. Editado por Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago de Chile, Chile.

Weiland, D. 2009. Utilization of biogas. En: Memories from Workshop "Biogas-Plant-technology planning". Beijing, China.

Wiese, J., Köning, R. 2007. Monitoring of digesters in biogas plants. Publicación de HACH LANGE. Düsseldorf, Alemania.

APÉNDICE

A.1 INSTALACIÓN Y CONEXIÓN DE LA TARJETA ARDUINO UNO A LA PC

Conexión

En seguida se listan los pasos necesarios para conectar la tarjeta Arduino Uno a la PC para usarla en conjunto a la interfaz LabVIEW.

1. Descargar la última versión de Arduino IDE para el sistema operativo deseado de la página de internet: <http://arduino.cc/en/Main/Software>
2. Extraer los archivos a la dirección C:\Program Files.
3. Conectar la tarjeta Arduino Uno con la PC vía USB.
4. Windows intentará instalar los drivers para Arduino pero puede no encontrar los correctos. Para esto se debe ir a **Inicio » Panel de control » Administrador de dispositivos**.
5. Hacer clic con el botón superior del mouse para abrir la ventana de propiedades de Arduino Uno, después hacer clic en Update Driver.
6. Escoger la opción **Buscar software de controlador en el equipo**
7. Buscar en C:\Program Files\Arduino-xxxx\drivers.
8. Hacer clic en **Siguiente**.
9. Hacer clic en **Cerrar**.
10. Arduino Uno deberá estar situada debajo de *Ports (COM&LPT)* en el administrador de dispositivos.

Instalación de la interfaz de LabVIEW para el Toolkit de Arduino Utilizando VIPM

La Interfaz de LabVIEW para Arduino se instala en el sistema siguiendo los siguientes pasos.

1. Se debe de tener la versión más reciente de *VI Package Manager (VIPM)* instalada en el sistema. La versión más actual del software se encuentra la dirección de internet <http://jki.net/vipm>
2. Ejecutar **VIPM**.
3. Navegar hacia **LabVIEW Interface for Arduino** en los paquetes de enlistado
4. Dar click en el botón **Install & Upgrade Packages**.
5. Dar click en **Continue**.
6. Dar click en **Finish**.

Una vez que el toolkit sea instalado se puede utilizar VIPM para verificar la existencia de actualizaciones. En caso de que haya actualizaciones disponibles, al hacer clic en el botón **Upgrade Packages** se actualizará a la última versión.

Para cargar la interfaz de LabVIEW para firmware Arduino en Arduino Uno y poder utilizar la tarjeta con dicha interfaz, es necesario seguir los siguientes pasos.

1. Conectar la tarjeta Arduino Uno a la PC como se ha mencionado anteriormente.
2. Instalar la interfaz LabVIEW para Arduino toolkit usando VIPM.
3. Abrir Arduino IDE ubicado en la ruta que se ha asignado con anterioridad y ejecutar el archivo *arduino.exe*
4. Arduino IDE se ejecutará. Hacer clic en *File»Open* y buscar *LVIFA_Base.pde* ubicado en C:\Program Files\National Instruments\LabVIEW 2010\vi.lib\LabVIEW Interface for Arduino\Firmware\LVIFA_Base
5. **Nota:** si *LVIFA_Base.pde* no se encuentra puede ser descargado de <https://decibel.ni.com/content/thread/13798>
6. Escoger el modelo de tarjeta Arduino haciendo clic en **Tools»Board»Arduino Uno**
7. Escoger el puerto COM haciendo clic en **Tools»Serial Port** y escoger el Puerto COM que corresponda a Arduino Uno.
8. El Puerto COM correspondiente a Arduino se puede saber entrando al administrador de dispositivos siguiendo la siguiente ruta **Inicio » Panel de control » Administrador de dispositivos** y expandir **Ports(LTP & COM)**.
9. Hacer clic en el botón **Upload** para actualizar el firmware de Arduino Uno.
10. Arduino IDE deberá reportar **Done Uploading** cuando el firmware haya sido actualizado satisfactoriamente en la tarjeta Arduino.

A.2 HERRAMIENTAS DE LABVIEW

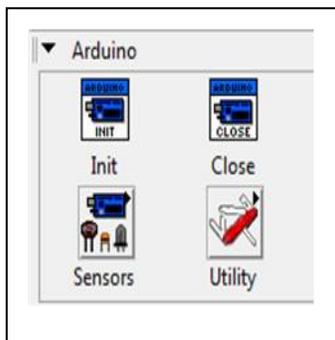
Un archivo *vi* (extensión que está asignada a los archivos desarrollados en LabVIEW) consta de un panel frontal y un diagrama de bloques. En el panel frontal se pueden acomodar tantos indicadores y controles como se necesiten. Los indicadores simplemente despliegan información mientras los controles permiten introducir parámetros que influirán en el desempeño de la aplicación. Por otra parte, se puede decir que el diagrama de bloques es el código fuente del programa. La programación se lleva a cabo con ayuda de funciones, estructuras y librerías. Los controles e indicadores que sean agregados en el panel frontal se pueden visualizar en el diagrama de bloques.

Las herramientas que se pueden usar en esta plataforma están distribuidas en tres diferentes paletas:

- Paleta de herramientas: Al tratarse de una interfaz gráfica el cursor se utiliza para realizar diferentes tareas, como seleccionar, unir mediante cables, seleccionar texto, etc. Estas opciones están disponibles en los diferentes íconos de esta paleta.
- Paleta de controles: Los controles e indicadores que se usarán en el panel frontal están contenidos en esta paleta. Está dividida en diferentes categorías, cada una con diferentes herramientas que pueden ser usadas para la programación.
- Paleta de funciones: La creación del diagrama de bloques es a partir de las diferentes funciones y constantes contenidas en esta paleta.

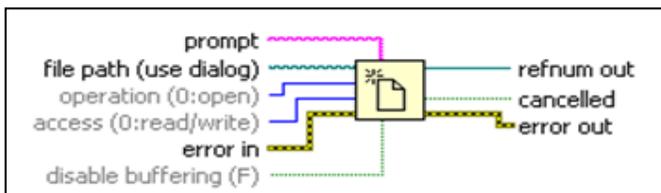
El trabajo simultáneo del panel frontal con el diagrama de bloques, así como las diferentes herramientas que están a disposición del usuario hace que LabVIEW resulte un software de flujo sencillo. A continuación se presentan las herramientas principales con que cuenta para desarrollar aplicaciones de monitorización.

NI LabVIEW Interface for Arduino Toolkit



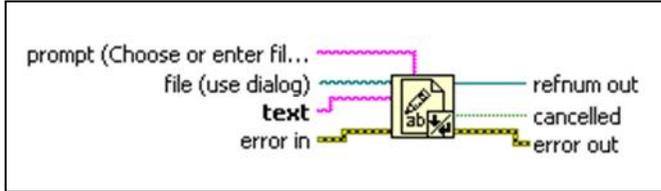
El Toolkit se encuentra en la paleta de funciones. Es una herramienta para establecer comunicación con los dispositivos Arduino y adquirir y controlar datos. La programación del microcontrolador a través de LabVIEW es más sencilla debido a su interfaz gráfica. La conexión puede ser vía USB o inalámbrica (Bluetooth) con velocidades de 200 Hz y 25Hz respectivamente.

Open/Create/Replace File Function



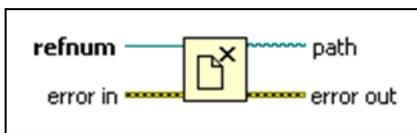
Con esta función se pueden abrir, crear y reemplazar archivos de texto o de datos. *Prompt* asigna el nombre del archivo. *Refnum out* entrega la referencia el archivo que se ejecuta. *Operation* se configura para abrir o reemplazar un archivo existente o para crear uno en caso de que no exista.

Write to Text File Function



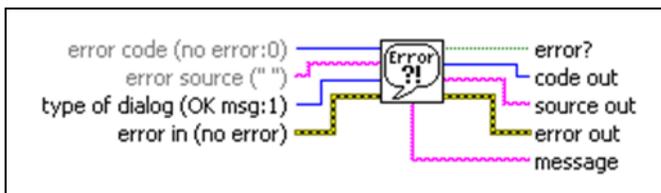
Escribe cadenas o arreglos de cadenas en archivos. La terminal *Prompt* despliega un título en el archivo en el cual va a escribir. *File* recibe la referencia del archivo sobre el cual va a escribir. *Refnum out* es la referencia del archivo que está recibiendo los datos. *Text* es la parte fundamental de esta función, aquí se conectan las cadenas y/o arreglos de cadenas que vaya a procesar la función.

Close File Function



El archivo se cierra a partir de la referencia que recibe en la terminal *Refnum*.

Simple Error Handler



Indica si ocurre un error y despliega un informe con la descripción del mismo. En *Type of dialog* se configuran las preferencias del usuario ante un error, por ejemplo, éste puede elegir si quiere que se despliegue o no la información del error, que lo despliegue y que le permita decidir entre continuar o no.

A.3 REQUERIMIENTOS DE LOS PROGRAMAS PROPUESTOS PARA EL SISTEMA OPERATIVO WINDOWS

LabVIEW

- Procesador: Pentium 4/M o equivalente
- RAM:1 GB
- Resolución de Pantalla: 1024 x 768 píxeles
- Versiones :Windows 7/Vista (32 bits y 64 bits) o Windows XP SP3 (32 bits)
- Espacio en disco: 3.67 GB
- 2.5 GB libres en el disco duro para operar los módulos "SignalExpress" y "Real Time"

SkyDrive

- Versión de 32 o 64 bits de Windows 7 o Windows Vista con Service Pack 2 y la Actualización de la plataforma de Windows Vista
- Windows Server 2008 R2 o Windows Server 2008 con Service Pack 2 y la Actualización de la plataforma de Windows Server 2008
- Procesador: 1,6 GHz o más, Pentium IV o posterior
- Memoria: 1 GB de RAM o más
- Conexión a Internet

LogMeIn

Para la operación de este software y de la aplicación, es necesario que tanto el host como el cliente tengan una conexión a internet.

Los dispositivos utilizados para acceder de forma remota al host deben de contar con los siguientes requerimientos:

Sistema operativo:

- Windows 7, Vista, XP, Server 2003, 2008 (todos incluyen 64 bits)
- Mac OS 10.4 (Tiger), 10.5 (Leopard), Mac OS 10.6 (Snow Leopard), 10.7 (Lion) y 10.8 (Mountain Lion) en equipos Mac con procesadores Intel.

Navegador:

- Internet Explorer 7 o superior, que admita cifrado de 128 bits o de 256 bits
- Firefox 3.6 o superior 7
- Google Chrome 2.0 o superior