

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



Megaproyecto

Guía para la evaluación del impacto ambiental de
construcciones, Parte III

TOMO II

Generación eléctrica

Trabajo de Megaproyecto presentado por Héctor Steve Aldana
Ardón, Juan Cristian Wunderlich Salazar y Edwin Leonel Guillermo
Terraiza para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
Industrial.

Guatemala
2012

Guía para la evaluación del impacto ambiental de
construcciones, Parte III

TOMO II

Generación eléctrica

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



Megaproyecto

Guía para la evaluación del impacto ambiental de
construcciones, Parte III


TOMO II

Generación eléctrica

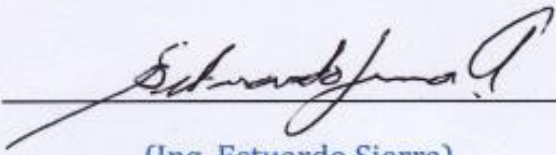
Trabajo de Megaproyecto presentado por Héctor Steve Aldana
Ardón, Juan Cristian Wunderlich Salazar y Edwin Leonel Guillermo
Terraiza para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería
Industrial.

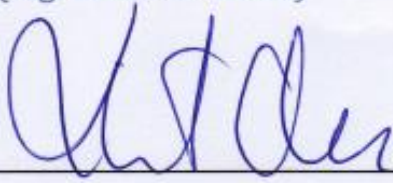
Guatemala
2012

Vo. Bo. :

(f) 
(Arq. Juan Pablo Blas)

Tribunal Examinador:

(f) 
(Ing. Estuardo Sierra)

(f) 
(Ing. Roberto Godo Levensen)

(f) 
(Arq. Juan Pablo Blas)

Fecha de aprobación: Guatemala 21 de Noviembre de 2012.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE GRÁFICOS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	2
III. JUSTIFICACIÓN	3
IV. METODOLOGÍA	4
V. MARCO TEÓRICO	5
A. Biogás.....	5
1. Definición y composición	5
2. Etapas intervinientes en la fermentación	6
B. Biodigestores	14
1. Componentes del sistema.....	14
2. Tipos de biodigestores	17
C. Hidrógeno	20
1. Propiedades generales.....	21
2. Propiedades físicas.....	21
3. Propiedades químicas	25
4. Maneras de obtener hidrógeno.....	32
5. Almacenamiento de hidrógeno	48
6. Formas de convertir hidrógeno en electricidad.....	51
7. Hidrógeno en Guatemala.....	54
VI. ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS	55
A. Sistema de generación de biogás	55

B.	Sistemas de generación de hidrógeno por fermentación oscura.....	56
1.	Descripción del proceso.....	56
2.	Diagrama de proceso.....	58
3.	Maquinaria y equipo.....	59
4.	Producción del sistema.....	66
5.	Costo del sistema.....	68
C.	Sistema de energía de hidrógeno solar.....	69
1.	Descripción general del sistema.....	69
2.	Requerimientos técnicos.....	71
3.	Determinación de las capacidades de cada componente del sistema de hidrógeno solar.....	72
4.	Componentes del sistema de hidrógeno solar.....	73
VII.	ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD.....	86
A.	Sistema de generación de biogás.....	86
1.	Estudio económico.....	86
2.	Análisis financiero.....	93
B.	Fermentación oscura.....	101
1.	Estudio económico.....	101
2.	Análisis financiero.....	101
B.	Sistema de energía de hidrógeno solar.....	104
1.	Estudio económico.....	104
2.	Análisis financiero.....	109
VIII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
A.	Conclusiones.....	113
C.	Recomendaciones.....	115
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	117
X.	ANEXOS.....	120
A.	Actividades rutinarias para el manejo y cuidado del biodigestor.....	120

D.	Cartilla de instalación biodigestor de bolsa	121
E.	Flujo de efectivo biodigestor de bolsa polimérica a 30 años.....	132
F.	Flujo de efectivo biodigestor de Deenbandhu a 30 años	133
G.	Formulario para autoproducer (EEGSA).....	134
H.	Guía para usuarios auto productores con excedentes de energía (CNEE) – Resolución 171-2008.....	135
I.	Cotización e información de hidrógeno proporcionada por Productos del Aire, S.A...	137
J.	Ejemplo de recibos de luz utilizados para el estudio energético.....	139
K.	Estadísticas de consumo proporcionadas por EEGSA.....	141
L.	Estadísticas energéticas proporcionadas por la CNEE	143
M.	Cotización de los tanques de hidrógeno.....	145
N.	Cotización de paneles solares fotovoltaicos.....	147
O.	Tablas del estudio financiero (fermentación oscura)	148
P.	Tablas del estudio financiero (hidrógeno solar)	154

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1: Porcentajes de sustancias en biogás	6
CUADRO 2: Características principales de fase acidogénica y fase metanogénica	7
CUADRO 3: Producción de estiércol	9
CUADRO 4: Rangos de temperaturas por bacteria.....	9
CUADRO 5: Inhibidores y sus concentraciones.....	13
CUADRO 6: Información general del hidrógeno	21
CUADRO 7: Información general del dihidrógeno	21
CUADRO 8: Tabla comparativa de densidades	23
CUADRO 9: Volumen específico del hidrógeno	23
CUADRO 10: Tabla comparativa del contenido energético del hidrógeno y otros combustibles.....	26
CUADRO 11: Tabla comparativa de la densidad de energía del hidrógeno y otros combustibles.....	27
CUADRO 12: Tabla comparativa del punto de ignición del hidrógeno y otros combustibles	28
CUADRO 13: Tabla comparativa de la temperatura de auto ignición del hidrógeno y otros combustibles.....	29
CUADRO 14: Tabla comparativa del octanaje del hidrógeno y otros combustibles.....	30
CUADRO 15: Rendimiento de hidrógeno en la fermentación oscura químicamente	33
CUADRO 16: Procesos por lotes para fermentación oscura usando cultivos puros (4litros de sustancia pura).....	34
CUADRO 17: Procesos en continuo para fermentación oscura usando cultivos puros (4 litros de sustancia pura).....	35
CUADRO 18: Procesos por lotes para fermentación oscura usando cultivos mixtos (4 litros de mezcla).....	36
CUADRO 19: Procesos en continuo para fermentación oscura usando cultivos mixtos (4 litros de mezcla).....	36

CUADRO 20: Tabla comparativa entre todos los métodos de obtención de hidrógeno a partir de la termólisis del agua	47
CUADRO 21: Tabla comparativa de las eficiencias volumétricas y másicas de las diferentes tecnologías y métodos de almacenamiento de hidrógeno	50
CUADRO 22: Tabla comparativa de las diferentes celdas de combustión.....	51
CUADRO 23: Reacciones en una celda de combustión alcalina	52
CUADRO 24: Reacciones que suceden en las celdas PEM	54
CUADRO 25: Especificaciones de bomba de agua sucia.	59
CUADRO 26: Especificaciones de reactor continuo de tanque agitado.....	61
CUADRO 27: Especificaciones de purificador de hidrógeno	61
CUADRO 28: Especificaciones del compresor de hidrógeno	63
CUADRO 29: Especificaciones del monitor de seguridad	64
CUADRO 30: Especificaciones de celdas de hidrógeno PEMFC; H-1000 PEM FC system (1kW).....	65
CUADRO 31: Producción a través del tiempo de hidrógeno y energía eléctrica posible.	66
CUADRO 32: Consumo de celda de hidrógeno	67
CUADRO 33: Componentes del sistema de hidrógeno solar	71
CUADRO 34: Información de los paneles fotovoltaicos de GREEN.....	75
CUADRO 35: Características del purificador de agua	76
CUADRO 36: Características del tanque de agua.....	77
CUADRO 37: Detalles técnicos del electrolizador	78
CUADRO 38: Mantenimiento del electrolizador	78
CUADRO 39: Detalles técnicos de los tanques de baja presión.....	80
CUADRO 40: Detalles técnicos de la celda de hidrógeno PEM	81
CUADRO 41: Mantenimiento de la celda de hidrógeno PEM.....	81
CUADRO 42: Detalles técnicos del inversor de corriente	82
CUADRO 43: Detalles técnicos del sensor de hidrógeno	83
CUADRO 44: Costos de tubería, válvulas, reguladores y arrestadores.....	84
CUADRO 45: Mantenimiento de tubería, válvulas, reguladores y arrestadores	84

CUADRO 46: Generación de energía eléctrica anual de los paneles fotovoltaicos	84
CUADRO 47: Generación anual de hidrógeno	85
CUADRO 48: Ahorro de leña y gas propano anual.....	88
CUADRO 49: Ahorro de leña de los próximos 10 años	88
CUADRO 50: Ahorro de gas propano de los próximos 10 años	88
CUADRO 51: Costo biodigestores	90
CUADRO 52: Costos mantenimiento y operación.....	90
CUADRO 53: Análisis financiero para una planta de 4 m ³ (con ahorro de leña)	93
CUADRO 54: Análisis financiero para una planta de 4 m ³ (con ahorro de propano)	93
93	
CUADRO 55: Análisis financiero para una planta de 6 m ³ (con ahorro de leña)	94
CUADRO 56: Análisis financiero para una planta de 6 m ³ (con ahorro de propano)	94
CUADRO 57: Análisis financiero para una planta de 10 m ³ (con ahorro de leña)	95
CUADRO 58: Análisis financiero para una planta de 10 m ³ (con ahorro de propano)	95
CUADRO 59: Análisis financiero para una planta de 15 m ³ (con ahorro de leña)	96
CUADRO 60: Análisis financiero para una planta de 15 m ³ (con ahorro de propano)	96
CUADRO 61: Cantidades necesarias para cumplir demanda de biodigestor.....	98
CUADRO 62: Flujos de efectivo positivos y negativos	101
CUADRO 63: Resumen de datos de escenarios	104
CUADRO 64: Matriz de correlación de posibles factores que afecten el precio del kWh	106
CUADRO 65: Resultados de regresión múltiple incluyendo todos los factores.....	106
CUADRO 66: Comportamiento de la tasa municipal años 2002-2012	108
CUADRO 67: Consumo de energía eléctrica promedio de casa estudiada.....	108
CUADRO 68: Detalles de la inversión inicial del sistema de hidrógeno solar	109
CUADRO 69: Análisis de sensibilidad bajo el criterio de periodo de recuperación	111
CUADRO 70: Escenarios planteados	112
CUADRO 71: Resultados de los escenarios	112

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: Relación Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) y temperatura	10
GRÁFICO 2: Relación de la producción de biogás con el tiempo de retención	11
GRÁFICO 3: Crecimiento de bacterias.....	12
GRÁFICO 4: Producción de hidrógeno por hora.	67
GRÁFICO 5: Consumo de celdas de hidrógeno.	67
GRÁFICO 6: Sensibilidad de la TIR a cambio de precio de la leña.....	98
GRÁFICO 7: Sensibilidad de la TIR a cambio de precio del gas propano	99
GRÁFICO 8: Análisis de sensibilidad	103
GRÁFICO 9: Comportamiento del precio del kWh años 2002-2012 (EEGSA)	105
GRÁFICO 10: Comportamiento del cargo fijo por consumidor años 2002-2012 (EEGSA)	107
GRÁFICO 11: Análisis de sensibilidad.....	111

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Biodigestor de tambor flotante	17
FIGURA 2: Biodigestor de domo fijo	18
FIGURA 3: Biodigestor Deenbandhu	19
FIGURA 4: Biodigestor de bolsa	19
FIGURA 5: Factor de expansión del hidrógeno	24
FIGURA 6: Estados de energía del hidrógeno	25
FIGURA 7: Despegue del transbordador espacial "Atlantis" desde la base de lanzamientos 39A en el centro espacial Kennedy	26
FIGURA 8: Diagrama comparativo de los rangos de inflamabilidad del hidrógeno y otros combustibles	29
FIGURA 9: Llama del hidrógeno	31
FIGURA 10: Fuentes y algunos procesos con los que el hidrógeno puede ser extraído	32
FIGURA 11: Esquema energético de la electrólisis	42
FIGURA 12: Electrólisis del agua en un electrolizador	43
FIGURA 13: Electrolizador alcalino	45
FIGURA 14: Electrolizador PEM	46
FIGURA 15: Ejemplo de una pila de celdas de combustión PEM	53
FIGURA 16: Celda de combustión PEM	54
FIGURA 17: Diagrama de proceso de producción de hidrógeno y energía eléctrica	58
FIGURA 18: Contenedor de aguas residuales	59
FIGURA 19: Bomba sumergible de agua con sólidos	60
FIGURA 20: Reactor continuo de tanque agitado	60
FIGURA 21: Agitador dentro de reactor continuo	60
FIGURA 22: Purificador de hidrógeno con membrana de paladio	61
FIGURA 23: Purificador de hidrógeno con membrana de paladio	62
FIGURA 24: Compresor de diafragma y pistón para comprimir hidrógeno	62

FIGURA 25: Válvulas de cheque de acero inoxidable.	63
FIGURA 26: Regulador para hidrógeno en línea.	63
FIGURA 27: Tanque de almacenamiento de hidrógeno.	64
FIGURA 28: Monitor de seguridad H2scan Corp.....	64
FIGURA 29: Celdas de hidrógeno PEMFC; H-1000 PEM FC system (1kW).....	65
FIGURA 30: Inversor de corriente AIMS.....	66
FIGURA 31: Sistema de hidrógeno solar	71
FIGURA 32: Sistema de generación atado a la red proporcionado por la empresa GREEN	74
FIGURA 33: Diagrama de flujo de autorización de usuarios con excedentes de energía (empresa EEGSA)	75
FIGURA 34: Purificador de agua.....	76
FIGURA 35: Tanque de agua purificada	77
FIGURA 36: Electrolizador PEM HyGen.....	77
FIGURA 37: Tanques de hidrógeno de baja presión utilizados en la casa de hidrógeno solar del científico Mike Strizki	79
FIGURA 38: Celda de combustión de hidrógeno PEM	80
FIGURA 39: Inversor de corriente (1000 W)	81
FIGURA 40: Sensor de fugas de hidrógeno	82

RESUMEN

Este trabajo consiste en el estudio y selección del método más conveniente y ecológico de producción y consumo de biogás e hidrógeno para generar energía eléctrica. Luego se desarrollará un estudio de factibilidad, que permitirá determinar si el método seleccionado es viable para implementarse en granjas y hogares de mediana y pequeña dimensión en Guatemala.

Los derivados del petróleo se agotan cada vez más, haciendo la energía proveniente de los mismos cada vez más costosa. Aparte, la contaminación causada por el consumo de los combustibles derivados del petróleo y otras fuentes de energía, afecta al medio ambiente por la gran cantidad de toxinas que se producen durante su consumo.

Este trabajo de investigación explica la teoría necesaria para comprender el término biogás, su composición, características, generación y los beneficios que puede aportar a la industria agropecuaria de Guatemala. Se explica la producción de biogás, los procesos químicos que la componen y los factores que pueden llegar a afectarla. Generalmente la producción controlada de este gas se da en biodigestores, se analizan y explican los más utilizados a nivel mundial y con base en las características económicas, sociales y climáticas de Guatemala se escogió el que mejor se adapta a las granjas agropecuarias del país. Un biodigestor de bolsa polimérica. Con base en todos los costos que conlleva la construcción y mantenimiento de un biodigestor de bolsa y las ganancias y beneficios que se pueden generar del mismo, se realiza un análisis financiero. Utilizando los flujos de efectivo anuales, se encontró el Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno para distintos escenarios de volumen y combustible utilizado previo a la construcción del biodigestor, estos valores determinaron que si es recomendable invertir en un sistema de generación de biogás. Para apoyar el análisis financiero se tomaron en cuenta otros beneficios no contables que un biodigestor puede aportar a una granja tales como, disminución del tiempo de trabajo, generación de abono y mejoramiento de las condiciones higiénicas. Se llegó a la conclusión que sin importar el tamaño de la granja, un sistema de generación de biogás es una buena inversión ya que tiene un buen retorno financiero y mejora la calidad de vida o de trabajo dentro de la granja.

El hidrógeno siendo el elemento más simple y abundante en el Universo, es un portador de energía con un futuro bastante prometedor y una alternativa para solucionar la crisis energética mundial, así como una posible forma de suministrar energía verde sin ningún tipo de contaminante. Técnicamente, los métodos de obtención de hidrógeno a partir de fuentes de energía renovables son posibles, pero la disponibilidad de tecnología en el mercado hace que el método de obtención de hidrógeno a partir de fermentación oscura y de energía solar sean los más viables.

Se realizó una búsqueda bibliográfica sobre los distintos métodos de producción de hidrógeno verde por medio de fermentación oscura. Con esta información se realizó un estudio de factibilidad para saber si es viable implementar el método más eficiente de fermentación oscura como una fuente de energía alternativa que no dañe el medio ambiente. El estudio de factibilidad se basará en cuánto tiempo se podrá recuperar la inversión de un sistema de producción de hidrógeno verde en un hogar de tamaño mediano. Para determinar el método de producción de hidrógeno más eficiente (proceso que más hidrógeno produce en la menor cantidad de tiempo, Cultivos Puros y Cultivos Mixtos) se compararon los distintos métodos de producción de hidrógeno a través de fermentación oscura para escoger el más efectivo. Se espera poder determinar si la aplicación de hidrógeno por fermentación oscura es viable como una opción de ahorro de energía eléctrica en un hogar mediano.

El sistema que genera energía eléctrica a partir de hidrógeno obtenido de la energía proveniente del sol se le conoce como: SISTEMA DE ENERGÍA DE HIDRÓGENO-SOLAR. La única limitación de este sistema es la disponibilidad y costo de la tecnología en el mercado. Esto se debe a que el costo de adquirir un sistema de estos en este momento, hace que la inversión sea extremadamente grande y, por lo tanto, no es factible invertir en el sistema. Sin embargo, ecológicamente, el sistema de energía de hidrógeno solar resulta viable, ya que éste no genera ningún tipo de contaminación. Se recomienda realizar la inversión en un sistema de energía de hidrógeno solar cuando la tecnología y los componentes utilizados disminuyan de precio, ya que por el momento son demasiado caros.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se propone dar bases de información y práctica en la generación de energía eléctrica a partir de biogás e hidrógeno verde. Esta información servirá para la implementación de sistemas productores de energía a granjas y hogares de mediana y pequeña dimensión. Se busca analizar el impacto ambiental y económico que este tipo de sistemas pueda generar en la ciudad de Guatemala.

El módulo a desarrollar es una investigación amplia de cómo implementar y desarrollar un sistema de producción de energía proveniente de biogás e hidrógeno verde. Se analizaron los métodos de producir energía eléctrica que produzcan menos contaminantes. De igual forma se analizaron cuáles son los generadores de electricidad que aprovechan de mejor forma el biogás y el hidrógeno para producir electricidad. Luego se realizó un estudio de factibilidad de los métodos seleccionados, el cual consiste en un análisis para determinar si es económicamente factible invertir en un sistema de estos para granjas y hogares de mediana y pequeña dimensión.

Este estudio servirá para evaluar y comparar las distintas alternativas de generación de energía estudiadas en el Mega Proyecto. Se espera que este trabajo llegue a demostrar los beneficios de implementar un sistema de producción y consumo de energía verde en la Ciudad de Guatemala.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Determinar si es factible la inversión en sistemas de producción y aprovechamiento de biogás e hidrógeno verde para la generación de energía en Guatemala.

B. Objetivos específicos

- 1.** Analizar por medio de un análisis técnico y financiero la viabilidad de la generación y aprovechamiento del biogás en granjas agropecuarias en Guatemala.
- 2.** Determinar el método de producción más eficiente de hidrógeno verde por medio de fermentación oscura para producir energía eléctrica, y analizar si es económicamente factible invertir en un sistema para un hogar de tamaño mediano.
- 3.** Determinar si es factible invertir en un sistema de producción de hidrógeno verde, que no sea por medio de fermentación oscura para residenciales o proyectos de pequeña dimensión en la Ciudad de Guatemala.

III. JUSTIFICACIÓN

En el mundo, la energía que es obtenida de los derivados del petróleo se agota cada vez más, haciéndola más costosa. Aparte, la contaminación causada por el consumo de estos combustibles y otras fuentes de energía, afecta al medio ambiente debido a la cantidad de toxinas que se producen durante su consumo. Debido a este problema se deben buscar soluciones alternativas de otras fuentes de energía más amigables con el medio ambiente como el hidrógeno verde.

El crecimiento en el campo energético y la demanda creciente a nivel mundial de energía, ha hecho que todos los países busquen formas alternativas de cubrir esta demanda tan grande. Guatemala cubre su demanda energética con hidroeléctricas y otras fuentes de energía que utilizan principalmente derivados del petróleo. Sin embargo, esta demanda sigue creciendo con los años y por consiguiente la contaminación también. Es por esto que se deben buscar otras formas no contaminantes, ecológicas, de suplir esta demanda. El biogás y el hidrógeno verde son las fuentes de energía que más futuro tienen, dentro de las energías verdes. Esto se debe a que básicamente cuando estos se producen y consumen se liberan pocos contaminantes, en comparación a otras fuentes de energía. En la combustión del hidrógeno solamente se libera vapor de agua al ambiente, sin ningún contaminante. El adaptar un sistema de éstos puede llevar a impulsar estas fuentes de energía y demostrar que éstas poseen un gran futuro dentro de los proyectos a desarrollar en Guatemala.

Se espera que este trabajo motive a empresas e inversionistas a invertir en formas verdes de producir y consumir energía, de esta manera también suplir la demanda creciente de energía en el país.

IV. METODOLOGÍA

La investigación que se va a realizar en este módulo del Megaproyecto de “Guía para la evaluación del impacto ambiental de construcciones, Parte III” es de tipo bibliográfica. Esto se debe a que se pretende informar a los interesados de todos los procedimientos y beneficios de invertir en la utilización de hidrógeno verde y biogás para el suministro de energía de granjas agropecuarias, residenciales y proyectos de pequeña dimensión en la Ciudad de Guatemala.

El objetivo general de la investigación es, “Determinar si es factible la inversión en sistemas de producción y aprovechamiento de biogás e hidrógeno verde para la generación de energía en Guatemala”. Es por esto que se realizó una investigación profunda de los métodos más recientes y ecológicos de producción y consumo de estos compuestos. Luego se seleccionó el método más sobresaliente y se realizó un estudio que permita la implementación de este tipo de sistemas en Guatemala.

Luego de tener toda la teoría para llevar a cabo la implementación de estos sistemas de generación de energía, se realizó un estudio de factibilidad de los mismos. Este estudio analizó por medio de flujos de efectivo anuales todos los costos y beneficios asociados con la implementación del sistema. Permitió determinar en cuánto tiempo se recupera la inversión y si ésta es viable para el sector del mercado guatemalteco al que está dirigido la implementación de uno de estos sistemas.

V. MARCO TEÓRICO

Los seres humanos con el pasar del tiempo y el uso de su intelecto, se han desarrollado y distribuido por toda la faz de la Tierra. Reproduciéndose y aumentando la población mundial cada vez más. Cada una de estas personas tiene una gran cantidad de necesidades y actividades, que con el tiempo y la tecnología se han vuelto más fáciles. La tecnología siempre ha sido una aliada para el desarrollo de los humanos, pero ésta siempre ha requerido de algún tipo de energía para su funcionamiento. En la física, la energía es la capacidad para realizar un trabajo, es por esto que las máquinas como carros y aviones la necesitan para poder operar y realizar su trabajo. (*Energía 2012*)

Durante mucho tiempo las personas en el mundo han extraído energía de diversas maneras para suplir la demanda mundial de la misma, agotando los recursos de la Tierra. La mayor parte de la energía transformada para el uso y consumo humano se deriva de los combustibles fósiles, entre los cuales se pueden encontrar los derivados del petróleo, los gases naturales y el carbón. Lo malo de la energía proveniente de los combustibles fósiles es la contaminación que se da al consumir la misma, ya que se liberan grandes cantidades de gases que resultan tóxicos para las formas de vida del planeta. Este tipo de combustibles tienen ventajas como: la facilidad de su extracción, su disponibilidad y su precio en comparación a otras fuentes de energía. Sin embargo, como son un recurso no renovable la disponibilidad de los mismos se reduce con el pasar del tiempo, volviéndolos más escasos y por lo tanto más caros.

En la actualidad el consumo de energía y la contaminación a nivel mundial se han elevado de manera notable, debido a esto muchas entidades y científicos alrededor del mundo están buscando maneras alternativas y ecológicas para suplir la demanda energética. Es por esto que en los últimos años el mercado de las energías renovables, también llamadas energías verdes, ha crecido de manera considerable. Este tipo de energía se puede obtener de fuentes naturales, que se consideran virtualmente inagotables debido a que poseen una gran cantidad de energía o debido a que se pueden regenerar por procesos y medios naturales. Las energías renovables son las siguientes: la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, undimotriz, la biomasa y los biocombustibles. (*Energía 2012*)

A. Biogás

1. Definición y composición. Biogás es el producto de la actividad de bacterias metanogénicas sobre materiales biodegradables en una condición anaeróbica. El biogás se compone principalmente de metano de 50% a 70%, 30% a 40% de dióxido de carbono (CO₂) y baja cantidad de otros gases, estos porcentajes dependen del tipo de desecho orgánico usado para producirlo, así como de las condiciones en que se afectado la fermentación en los digestores.

CUADRO 1: Porcentajes de sustancias en biogás

Substancia	Símbolo	Porcentaje
Metano	CH ₄	50 – 70%
Dióxido de carbono	CO ₂	30 – 40%
Hidrogeno	H ₂	5 – 10%
Nitrógeno	N ₂	1 – 2%
Agua	H ₂ O	0.003
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	Rastros

Es un gas inodoro e incoloro, aproximadamente 20% más ligero que el aire y tiene una temperatura de ignición en el intervalo de 650°C a 750°C (Diesel 350°C, gasolina 500°C). Se quema con llama azul claro similar a la del GLP. Puede utilizarse como combustible gaseoso con una eficiencia de combustión promedio del 60% en estufas de biogás convencionales. Su valor calórico es de 20MJ/m³ (Alexander, 1961).

2. Etapas intervinientes en la fermentación

a. Fase de hidrólisis. Las bacterias de esta primera etapa toman la materia orgánica virgen con sus largas cadenas de estructuras carbonadas y las van rompiendo y transformando en cadenas más cortas y simples (ácidos orgánicos) liberando hidrógeno y dióxido de carbono. Este trabajo es llevado a cabo por un complejo de microorganismos de distinto tipo que son en su gran mayoría anaerobios facultativos.

b. Fase de acidificación. Esta etapa la llevan a cabo las bacterias acetogénicas y realizan la degradación de los ácidos orgánicos llevándolos al grupo acético CH₃-COOH y liberando como productos Hidrógeno y Dióxido de carbono.

Esta reacción es endoenergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica con las bacterias metanogénicas que substraen los productos finales del medio minimizando la concentración de los mismos en la cercanía de las bacterias acetogénicas. Esta baja concentración de productos finales es la que activa la reacción y actividad de estas bacterias, haciendo posible la degradación manteniendo el equilibrio energético (Alexander, 1961).

c. Fase metanogénica. Las bacterias intervinientes en esta etapa pertenecen al grupo de las achibacterias y poseen características únicas que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo que las diferencian de todo el resto de las bacterias por lo cual, se cree que pertenecen a uno de los géneros más primitivos de vida colonizadoras de la superficie terrestre. La transformación final cumplida en esta etapa tiene como principal substrato el acético junto a otros ácidos orgánicos de cadena corta y los productos finales liberados están constituidos por el Metano y el dióxido de carbono (Alexander, 1961).

Los microorganismos intervinientes en cada fase tienen propiedades distintas que son muy importantes y se las debe conocer para lograr comprender el equilibrio y funcionamiento óptimo de un digestor.

CUADRO 2: Características principales de fase acidogénica y fase metanogénica

Fase acidogénica	Fase metanogénica
Bacterias facultativas (pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxígeno)	Bacterias anaeróbicas estrictas (No pueden vivir en presencia de oxígeno)
Reproducción muy rápida (alta tasa reproductiva)	Reproducción lenta (baja tasa reproductiva)
Poco sensibles a los cambios de acidez y temperatura.	Muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura
Principales metabolitos, ácidos orgánicos.	Principales productos finales, metano y dióxido de carbono

d. Principales factores que afectan la producción de gas. La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias intervinientes en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios no es posible dar valores cualitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa. Por lo tanto nos limitaremos a dar una valoración cualitativa y en algunos casos se darán cifras y cuadros que deben tomarse como orientativos ya que los valores pueden sufrir importantes variaciones.

e. Tipo de materia prima. Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas.

El proceso microbiológico no sólo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores).

Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en la digestión de ciertos desechos industriales puede presentarse el caso de ser necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento aeróbico (Henríquez, 1998).

Las sustancias con alto contenido de lignina no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina.

En lo atinente a estiércoles animales la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos.

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias entre distintos autores. Esto es debido al sinnúmero de factores intervinientes que hacen muy difícil la comparación de resultados por lo tanto los valores brindados en la Tabla 3 deben ser tomados como orientativos (Henríquez, 1998).

Como norma se deberá tomar en cuenta que a raíz de estar trabajando en un medio biológico sólo los promedios estadísticos de una serie prolongada de mediciones serán confiables siempre y cuando figuren las condiciones en las cuales fueron realizadas las pruebas.

En cuanto al volumen de estiércol producido por las distintas especies animales son variables de acuerdo fundamentalmente al peso y al tipo de alimentación y manejo de los mismos. Esto se explicara más a fondo más adelante.

Se expone a continuación un cuadro indicativo sobre cantidades de estiércol producido por distintos tipos de animales y el rendimiento en gas de los mismos tomando como referencia el kilogramo de sólidos volátiles.

CUADRO 3: Producción de estiércol

Especie	Peso vivo	kg Estiércol/día	L/kg.S.V.	%CH4
Cerdos	50	4,5 - 6	340 - 550	65 - 70
Vacunos	400	25 -40	90 - 310	65
Equinos	450	13 - 16	200 - 300	65
Ovinos	45	2,5	90 - 310	63
Aves	1.5	0,06	310 - 620	60
Caprinos	40	1,5	110 - 290	--

f. Temperatura del sustrato. Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° a 5° C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70°C. Se realiza generalmente una diferenciación en tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas.

CUADRO 4: Rangos de temperaturas por bacteria

Bacterias	Rango de temperaturas	Sensibilidad
Psicrofílicas	menos de 20°C	+ - 2°C/hora
Mesofílicas	entre 20°C y 40°C	+ - 1°C/hora
Termofílicas	más de 40°C	+ - 0,5°C/hora

La actividad biológica y por lo tanto la producción de gas aumenta con la temperatura. Al mismo tiempo se deberá tener en cuenta que al no generar calor el proceso la temperatura deberá ser lograda y mantenida mediante energía exterior. El cuidado en el mantenimiento también debe extremarse a medida que aumentamos la temperatura, dada la mayor sensibilidad que presentan las bacterias termofílicas a las pequeñas variaciones térmicas (Henríquez, 1998).

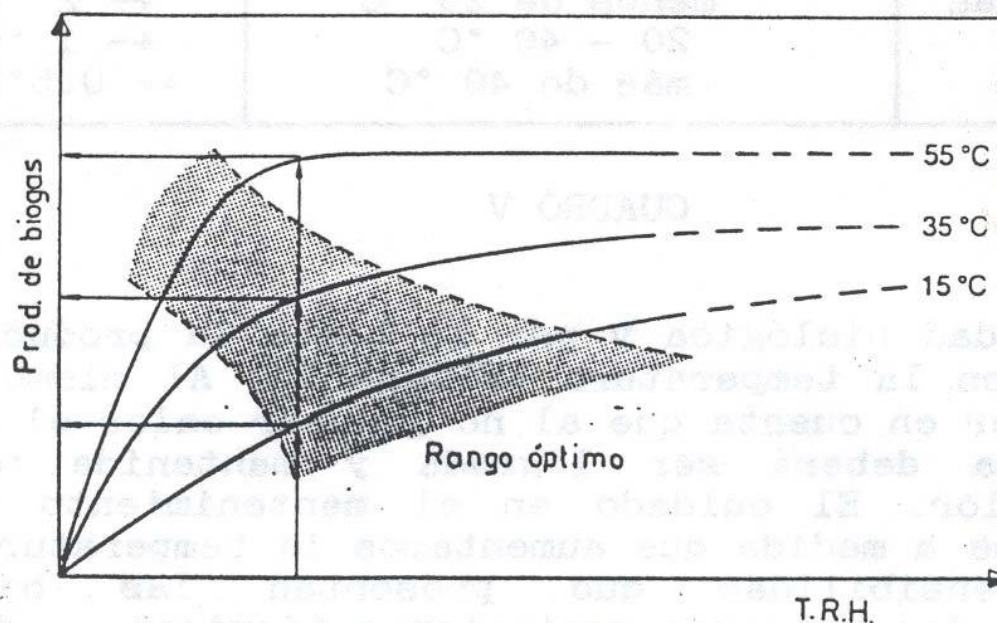
Todas estas consideraciones deben ser evaluadas antes de escoger un determinado rango de temperaturas para el funcionamiento de un digestor ya que a pesar de incrementarse la eficiencia y producción de gas paralelamente aumentará los costos de instalación y la complejidad de la misma.

Los digestores que trabajan a temperaturas meso y termofílicas poseen generalmente sistemas de calefacción, aislación y control los cuales son obviados en digestores rurales económicos que trabajan a bajas temperaturas (Henríquez, 1998).

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de retención Hidráulica, TRH). A medida que

se aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa.

GRÁFICO 1: Relación Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) y temperatura



(Henríquez, 1998)

g. Velocidad de carga volumétrica. Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención.

Existen diferentes formas de expresar este parámetro siendo los más usuales los siguientes: kg de material/día; kg de materia seca/día; kg de sólidos volátiles/día todos expresados por metro cúbico de digestor.

Las cantidades de sólidos y sólidos volátiles se extraen afectando a las cantidades en kg de material cargado con los porcentajes de sólidos o sólidos volátiles que se obtiene por análisis. (porcentaje de sólidos sometiendo al sustrato a desecación, 105°C hasta peso constante y extrayendo el siguiente coeficiente: (peso húmedo - peso seco)/peso húmedo. El porcentaje de sólidos volátiles se obtiene sometiendo la muestra seca a la mufla, 560°C durante tres horas y extrayendo el siguiente coeficiente: 1 - ((peso seco - peso ceniza)/peso seco)) (Henríquez, 1998).

Un factor importante a tener en cuenta en este parámetro es la dilución utilizada, debido a que una misma cantidad de material degradable podrá ser cargado con diferentes volúmenes de agua.

h. Tiempos de retención. De acuerdo al diseño del reactor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir variables diferencias entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores.

El tiempo de retención está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo.

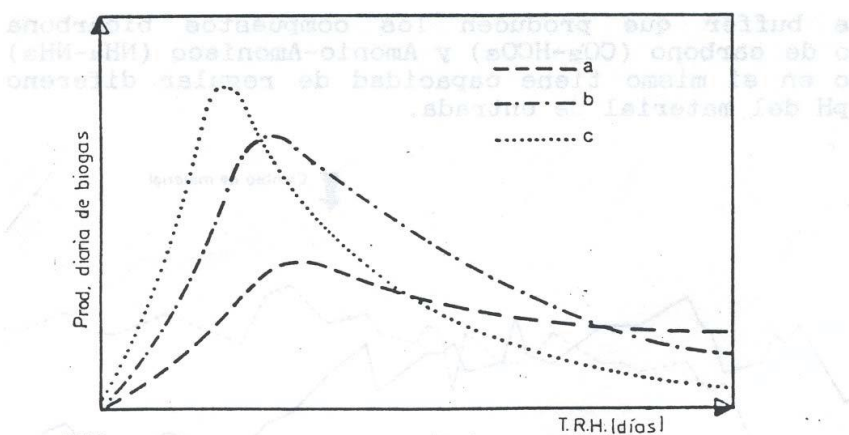
La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material.

La relación costo beneficio es el factor que finalmente determinará la optimización entre la temperatura y el tiempo de retención, ya varían los volúmenes, los sistemas paralelos de control, la calefacción y la eficiencia.

Con relación al tipo de sustrato, generalmente los materiales con mayor proporción de carbono retenido en moléculas resistentes como la celulosa demandarán mayores tiempos de retención para ser totalmente digeridos. En la FIGURA 2 podemos observar cómo se distribuye en función al tiempo de retención la producción diaria de gas para materiales con distintas proporciones de celulosa.

GRÁFICO 2: Relación de la producción de biogás con el tiempo de retención

a) Pasto verde; b) Estiércol vacuno; c) Paja



El límite mínimo de los tiempos de retención está dado por la tasa de reproducción de las bacterias metanogénicas debido a que la continua salida de efluente del digestor extrae una determinada cantidad de bacterias que se encuentran en el líquido. Esta extracción debe ser compensada por la multiplicación de las bacterias que pertenecen dentro del reactor.

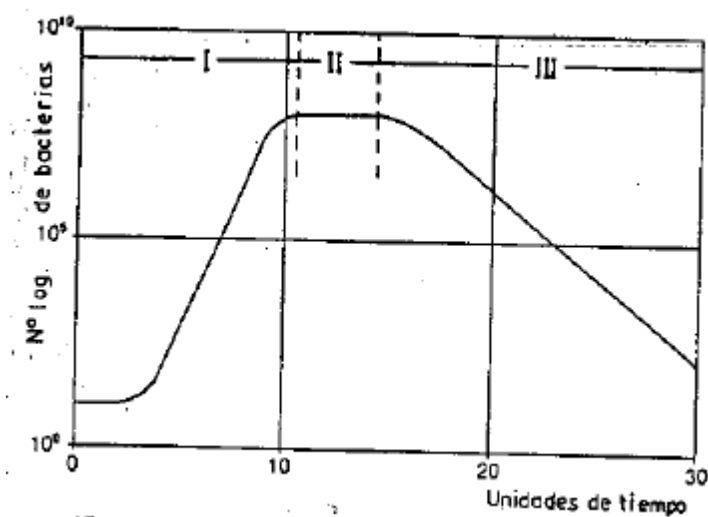
i. Contenido de sólidos. La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. Por otro lado podemos encontrar en la literatura datos de producciones de gas importantes logradas en rellenos sanitarios con un alto contenido de sólidos.

En este punto tampoco existen reglas fijas; mediciones realizadas utilizando mezclas de estiércoles animales en agua han determinado que para digestores continuos el porcentaje de sólidos óptimo oscila entre el 8% y el 12% (Henríquez, 1998).

j. Inclusión de inoculantes. El crecimiento bacteriano dentro de los digestores sigue desde su arranque la curva típica graficada en la FIGURA 3 en la cual puede distinguirse claramente tres etapas: La de arranque (I), la de estabilización (II) y la de declinación (III).

La primera etapa puede ser acortada mediante la inclusión de un determinado porcentaje de material de otro digestor rico en bacterias que se encuentran en plena actividad. Esto es particularmente importante en los digestores discontinuos que deben ser arrancados frecuentemente.

GRÁFICO 3: Crecimiento de bacterias



(Henríquez, 1998)

Al llegarse en forma más rápida a la estabilización puede incrementarse la producción de gas por kg. de estiércol.

Los dos factores a tener en cuenta en la inoculación de un digestor son la proporción en que se agrega y la edad del mismo. Cuanto mayor sea la proporción y menor la edad mayor será la eficacia.

k. Inhibidores. La presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir e incluso interrumpir el proceso fermentativo.

Cuando es demasiado alta la concentración de ácidos volátiles (más de 2.000 ppm para la fermentación mesofílica y de 3.600 ppm para la termofílica se inhibirá la digestión. También una elevada concentración de Nitrógeno y Amoníaco destruyen las bacterias metanogénicas (Henríquez, 1998).

CUADRO 5: Inhibidores y sus concentraciones

Inhibidores	Concentración inhibidora
SO ₄	5.000 ppm
NaCl	40.000 ppm
Nitrato (según contenido de Nitrógeno)	0,05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200-500 mg/l
CN (Después que se han domesticado las bacterias metanogénicas a 2-10 mg/ml).	25 mg/l
ABS (Detergente sintético)	20-40 mg/l
Na	3.500-5.500 mg/l
K	2.500-4.500 mg/l
Ca	2.500-4.500 mg/l
Mg	1.000-1.500 mg/l

B. Biodigestores

El biodigestor es una estructura física, comúnmente conocida como la planta de biogás. La función principal de esta estructura es proporcionar condiciones anaeróbicas dentro de ella. Debe de ser una cámara que no permita la salida tanto de agua como de gas. Puede estar hecha de varios materiales de construcción, en formas y tamaños diferentes. La construcción de esta estructura forma una parte importante del costo de inversión. Algunos de los diseños comúnmente utilizados se discuten a continuación. En el entorno guatemalteco, para pequeños agricultores y fincas, se promueve la utilización de biodigestores de bolsa de polietileno ya que los costos son menores y el transporte se facilita. Por esto se explicará más este sistema y se realizarán los cálculos económicos con base en este modelo.

1. Componentes del sistema. La selección de los materiales de construcción tiene una gran importancia y por lo tanto deben satisfacer los siguientes requerimientos:

- Resistencia a los esfuerzos de origen mecánico y térmico.
- Resistencia al ataque químico.
- Posibilidad de ser moldeado y/o construido localmente.
- Disponibilidad local.
- Compatibilidad ambiental.

Las características físicas de los materiales son fácilmente calculables no así los aspectos de disponibilidad y de posibilidad de operar con ellos pues estos varían según el país o región. Por este motivo se deberá realizar un análisis particular para cada caso antes de tomar una determinación definitiva.

Este último punto es de decisiva importancia debido a que la construcción y reparación deberán ser realizadas por gente del lugar.

a. Sistema de acarreo o alimentación. Deben ser tales que aseguren una provisión de materia prima en forma rápida evitando su descomposición aeróbica. De este modo se tendrá un material con su pleno potencial.

b. Cámaras de carga. El sustrato generalmente se almacena en una cámara de carga antes de su ingreso. Dependiendo del digestor esta cámara deberá ser capaz de almacenar un volumen equivalente a dos días de carga.

Estará provisto de un sistema de alimentación de agua para realizar las diluciones del material y algún mecanismo o instrumento de agitación para homogeneizar la carga (de Castro, 1994).

c. Conductos y canales de transporte. Las propiedades físicas del sustrato fresco son raramente comparables a las del agua, en otras palabras los fluidos involucrados son no Newtonianos. Los líquidos residuales de las granjas tienen sus propias reglas sobre las propiedades del fluido, las cuales no son calculadas por fórmulas establecidas.

La selección y/o diseño del equipo de transporte se fundamentan en los siguientes parámetros:

- viscosidad
- tipo, tamaño y proporción de sólidos
- contenido de sólidos totales
- proporción de agua pura
- caudales requeridos

El esfuerzo y dinero que serán dispuestos para el sistema de transporte, como las propiedades del flujo del sustrato en el alcantarillado y la cañería, dependerán de la consistencia y el contenido de fibras del sustrato y del caudal de salida requerido (de Castro, 1994).

d. Cámara de digestión. No importa cuál sea el sistema a utilizar, la cámara de digestión deberá cumplir los siguientes requisitos (de Castro, 1994):

Impermeable al agua y al gas para evitar las pérdidas del líquido en digestión, con el consecuente peligro de contaminación; y la pérdida de gas que disminuirá la eficiencia y provocaría el riesgo de explosiones en las cercanías del digestor.

Aislante, las pérdidas de calor deben ser evitadas al máximo, puesto que el mantenimiento de la temperatura de digestión es logrado con el aporte de calor externo y por lo tanto todo ahorro en este sentido redundará en una mayor cantidad de energía neta disponible. Este aspecto es particularmente importante para los digestores que trabajan a temperaturas meso y termofílicas.

Mínima relación superficie/volumen, a fin de ahorrar material y mano de obra, como así también reducir la superficie de intercambio de calor.

Estabilidad estructural, capaz de soportar cargas estáticas y dinámicas; incluyendo un cuidadoso estudio del suelo, especialmente en los que serán construidos bajo tierra, donde se pueda afectar alguna napa freática.

e. Almacenamiento del biogás. La producción de gas de un digestor anaeróbico es continua; no ocurre lo mismo con el consumo que por lo general está concentrado en una fracción corta de tiempo. Por este motivo será necesario almacenar el gas producido durante las horas en que no se consuma.

La dispersión del consumo y su intensidad determinará el volumen de almacenamiento requerido.

Por lo tanto cuanto más concentrado esté el consumo en un período de tiempo corto, mayor será la necesidad de almacenaje. Por lo general el volumen de almacenamiento no baja del 50% de la producción diaria.

El contenido de energía de 1 m^3 de biogás (60% CH_4 y 40% CO_2) es aproximadamente 6 kWh/m^3 . Esta energía puede ser almacenada en diferentes formas (gas a baja presión, media o alta), agua caliente o energía eléctrica.

Debido a que el gas en sí mismo constituye la forma más directa de energía se debe intentar almacenarlo: para ello existen varias formas posibles. La forma más simple es almacenar el gas tal cual se obtiene, a baja presión, para ello se utiliza generalmente gasómetros. Los digestores totalmente cerrados almacenan el gas a presión constante y presión variable. Su capacidad es reducida y son muy poco usados. Los digestores con campana gasométrica que puede flotar sobre el líquido en fermentación o estar separado del digestor flotando sobre agua formando un sello hidráulico, muy usado en los reactores del tipo Hindú: en este caso el gas se almacena a presión constante (la que se puede variar colocando contrapesos sobre la campana) y a volumen variable. El tercer tipo posee una cúpula fija y una cámara de hidropresión que permite el desplazamiento del sustrato en fermentación a medida que se acumula el gas, este sistema es muy empleado en los digestores de tipo Chino; en este caso el gas se almacena a volumen y a presión variables. Por último se han difundido en años recientes almacenadores de gas del tipo gasómetro plástico inflable. Este contenedor plástico puede cubrir el digestor en su parte superior como una campana o estar separado, almacenando a presión constante y volumen variable. En este tipo también se puede variar la presión de la misma forma que en el de campana gasométrica (Puig, 1995).

A fin de reducir el volumen de almacenaje necesario se puede comprimir el gas y almacenarlo a presiones medias (0,5 a 1,5 bar) y altas hasta 300 bar. Este tipo de almacenamiento demanda un gasto extra de energía para comprimir el gas y además se lo debe purificar extrayendo el vapor de agua, el dióxido de carbono y el ácido sulfhídrico. Los contenedores de gas para estas presiones, cilindros en general, son caros

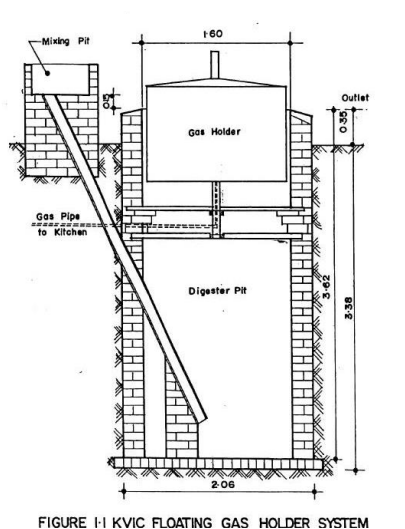
debido a que deben tener la suficiente rigidez estructural para poder soportar los esfuerzos a los que se ve sometido (Puig, 1995).

El almacenaje a estas presiones se utiliza generalmente cuando se emplea el gas, como combustible de vehículos, donde el volumen ocupado es importante. La energía también se puede almacenar en forma de calor, calentando agua la que se mantiene en un recipiente aislado hasta el momento de su utilización.

2. Tipos de biodigestores

a. Digestor de tambor flotante. Conocido popularmente como la planta de gas Gobar, fue desarrollado en la india en los años 50. En este diseño, la cámara de digestión es de mampostería de ladrillo con mortero de cemento. Un tambor de acero se coloca en la parte superior del digestor para recoger el biogás, éste fue reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada. Así, hay dos estructuras separadas para la producción y recogida del gas. Con la introducción de la planta de domo fijo, la planta flotante de tambor llegó a ser obsoleta debido a la inversión relativamente alta y el coste de mantenimiento, junto con las deficiencias de diseño. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada (APROSC, 1988).

FIGURA 1: Biodigestor de tambor flotante



(APROSC, 1988)

b. Digestor de domo fijo. Modelo de tecnología china para la extracción de biogás (también llamado digestor sin tambor). Se trata de un compartimento subterráneo de mampostería de ladrillo (la cámara de fermentación) con una cúpula en la parte superior para el almacenamiento de gas. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme. La tubería de la entrada es recta y extremos nivelados. Hay un tapón de la inspección a la cima del digestor que facilita el limpiado. En este diseño, la cámara de fermentación y depósito de gas se combinan como una unidad. Este diseño elimina el costo del tambor de acero el cual era susceptible a la corrosión. Tiene una vida útil mayor (de 20 a 50 años) en comparación con la planta de tambor flotante (APROSC, 1988).

FIGURA 2: Biodigestor de domo fijo

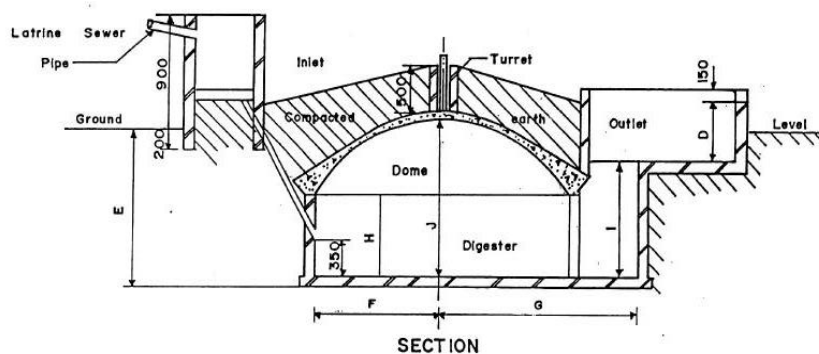
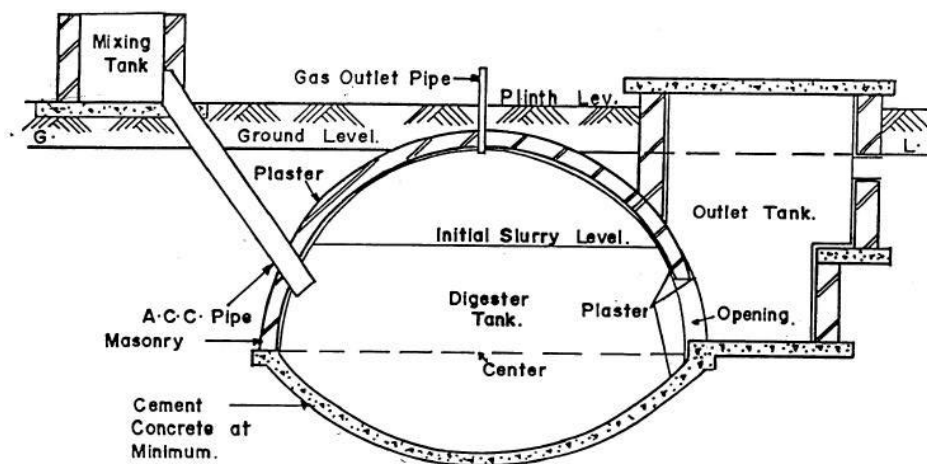


FIGURE-1-2 GGC CONCRETE MODEL BIOGAS PLANT

(APROSC, 1988)

c. Modelo Deenbandhu. Este digestor fue desarrollado en la India e incluye las características del digestor de domo fijo y del de tambor flotante. Están hechos totalmente de trabajo de mampostería con un depósito de gas de forma esférica en la parte superior y un fondo cóncavo (APROSC, 1988).

FIGURA 3: Biodigestor Deenbandhu

FIGURE-13 DEENBANDHU BIOGAS PLANT (3m³ gas production per day)

(APROSC, 1988)

d. Digestor de bolsa. Este diseño fue desarrollado en Taiwán. Se compone de un cilindro largo de PVC o de otra membrana polimérica. El digestor bolsa fue desarrollado para resolver los problemas experimentados con digestores de ladrillo y metal. En este digestor el gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con Biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión de operación baja, pues no se puede exceder la presión de trabajo de la misma. Son los más utilizados ya que el costo se reduce, el inconveniente es que no se puede tratar grandes volúmenes de materia orgánica (APROSC, 1988).

FIGURA 4: Biodigestor de bolsa

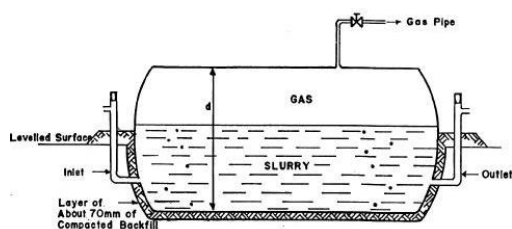


FIGURE-1.4 BAG DIGESTER.

(APROSC, 1988)

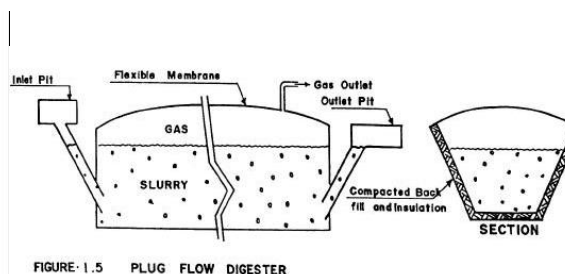


FIGURE-1.5 PLUG FLOW DIGESTER

C. Hidrógeno

El hidrógeno es el elemento más simple y abundante en el universo, siendo el 75% de la masa de toda la materia visible en las estrellas y galaxias. Está representado por el símbolo químico “H” y es el primer elemento en la tabla periódica. La palabra hidrógeno proviene del latín “hydrogenium” y éste proviene del griego antiguo “hydro”, que significa agua, y de “genos”, que significa generador. Por lo tanto la palabra hidrógeno significa: generador de agua. Un átomo de hidrógeno posee únicamente un protón y un electrón. Sin embargo, el hidrógeno en estado gaseoso es una molécula diatómica, cada una de estas moléculas posee dos átomos de hidrógeno y es por esto que el hidrógeno es en su estado puro es representado como H_2 y se le conoce como dihidrógeno, molécula de hidrógeno, o hidrógeno diatómico. Éste hidrógeno gaseoso fue tratado por primera vez por T. Von Hohenheim (conocido como Paracelso, 1493-1541), quien lo generó al mezclar metales con ácidos fuertes; sin embargo, Paracelso no sabía que había descubierto un nuevo elemento. Fue en 1766 que el físico químico Henry Cavendish reconoció al hidrógeno gaseoso como una sustancia discreta, identificando al gas como “aire inflamable”, él también fue quien descubrió que la combustión del gas generaba como resultado agua. Hasta 1783 el químico francés Antoine Lavoisier fue quien dio el nombre de hidrógeno al elemento, después de comprobar los experimentos realizados por Cavendish, junto al astrónomo, físico y matemático francés Pierre Simon Laplace. (EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

A pesar de que es muy abundante en la Tierra como elemento, el hidrógeno se combina fácilmente con otros elementos y es por esto que la mayoría de veces se encuentra como parte de otra sustancia como el agua, hidrocarburos o alcoholes. Es muy importante saber que el hidrógeno es un portador de energía y no una fuente de energía. Esto se debe a que el hidrógeno es capaz de almacenar y suministrar energía útil, pero normalmente el hidrógeno no se encuentra de manera individual en la naturaleza. Éste se debe de extraer de las sustancias y compuestos que lo contienen mediante procesos que involucran recursos nucleares, gases naturales, carbón, la biomasa y otras fuentes de energía renovables como la solar, eólica, hidroeléctrica o la energía geotérmica. Esta diversidad de formas de extraerlo de otras sustancias, es lo que ha convertido al hidrógeno en un portador de energía con un futuro prometedor y una alternativa para solucionar la crisis energética mundial, así como una posible forma de suministrar energía verde sin ningún tipo de contaminante. (EERE 2012)

1. Propiedades generales

CUADRO 6: Información general del hidrógeno

Información general del elemento	
Nombre	Hidrógeno
Símbolo	H
Número atómico	1
Categoría	No metal
Peso atómico	1.00794 g/mol
Configuración electrónica	1s1

CUADRO 7: Información general del dihidrógeno

Información general del dihidrógeno (gas)	
Fórmula	H ₂
Estado	Gas
Masa molar	2.1589

(EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

2. Propiedades físicas

a. Estado, punto de ebullición y fusión. Todas las sustancias en la Tierra existen en estado gaseoso, líquido o sólido. La mayoría de las sustancias pueden cambiar entre estos estados dependiendo de la temperatura y la presión a la que sean sometidas. En general un gas puede cambiar de estado líquido a estado gaseoso reduciendo su temperatura, y un líquido puede pasar a estado sólido reduciendo su temperatura aún más. También, si se eleva la presión en una sustancia, ésta se volverá líquida o sólida a una temperatura mayor, que a una presión menor. La transición de líquido a gas se conoce como ebullición y la transición de líquido a sólido se conoce como congelamiento. También se puede dar la transición de manera inversa, de gas a líquido se le llama condensación y de sólido a líquido se llama fusión. La condensación y la ebullición se dan a la misma temperatura, al igual que el congelamiento y la fusión respectivamente.

El hidrógeno es el elemento con segundo lugar en cuanto al punto de ebullición y de fusión más bajo, siendo el helio el más bajo. Éste se encuentra en estado líquido por debajo de su punto de ebullición a 20 grados kelvin (-253 °C) y se encuentra en estado sólido por debajo de su punto de fusión a 14 K (-259 °C), todo esto a presión atmosférica. Estas temperaturas son extremadamente bajas, por lo que son

consideradas temperaturas criogénicas, y es por esto que líquidos como el hidrógeno a estas temperaturas, son conocidos como líquidos criogénicos.

Otro factor importante del estado del hidrógeno y otros combustibles es su punto de ebullición, ya que este define la temperatura a la cual el combustible tiene que estar para poder transportar o almacenar el mismo en estado líquido. Los combustibles son más fáciles de manejar en estado líquido, esto se debe a que ocupan menos volumen que en su estado gaseoso y por lo tanto es más fácil su transporte y almacenamiento. Es por esto que la mayoría de combustibles que se usan en la actualidad, como la gasolina y el diesel, se encuentran en estado líquido, en condiciones atmosféricas (temperatura ambiente y presión atmosférica). Sin embargo, el hidrógeno en condiciones atmosféricas se encuentra en estado gaseoso, por lo que resulta muy difícil su almacenamiento y transporte. La única manera de transportar y almacenar el hidrógeno es en estado de gas y como líquido criogénico. Esto resulta muy difícil, ya que los gases y líquidos criogénicos necesitan condiciones especiales de temperatura y presión para su almacenamiento y transporte. (EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

b. Olor, color y sabor. El hidrógeno en su estado puro es inoloro, incoloro y no tiene sabor, por lo que resulta muy difícil detectar el gas a plena luz del día. Existen compuestos químicos, como el mercaptano, que se pueden añadir a los gases para darles algún tipo de olor que permita detectarlos en caso de alguna fuga. Sin embargo, si estos se añaden al hidrógeno, éste no puede ser usado en celdas de combustión, ya que los compuestos añadidos contaminarían la celda con sulfuro, volviéndola inutilizable. (EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

c. Toxicidad. El hidrógeno no es tóxico, pero puede llegar a causar asfixia, ya que éste puede desplazar el oxígeno del aire al interactuar químicamente.

1) **Asfixia:** Puede ocurrir en lugares cerrados que poseen una gran fuga de hidrógeno, debido a que éste como gas se esparce muy rápidamente y puede llenar el lugar cerrado rápidamente, desplazando todo el oxígeno.

d. Densidad. La densidad es la cantidad de masa contenida por unidad de volumen, por lo que se ve afectada por la temperatura y la presión. Debido a que el hidrógeno posee el peso atómico más bajo de los elementos, su densidad es muy baja, tanto para el estado líquido como para el estado gaseoso. A la densidad de un gas se le llama densidad de vapor, y la de un líquido se le llama densidad líquida. La siguiente tabla proporciona la densidad líquida y de vapor, para el hidrógeno y otras sustancias similares, para fines de comparación.

CUADRO 8: Tabla comparativa de densidades

Sustancia	Densidad líquida (a temperatura de ebullición normal, 1 atm)	Densidad de vapor (20 °C, 1 atm)
Hidrógeno	70.8 kg/m ³	0.08376 kg/m ³
Metano	422.8 kg/m ³	0.65 kg/m ³
Gasolina	700 kg/m ³	4.4 kg/m ³

(EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

e. Volumen específico. El volumen específico es el inverso de la densidad, éste se expresa en la cantidad de volumen por unidad de masa. La siguiente tabla proporciona el volumen específico para el estado líquido y gaseoso del hidrógeno.

CUADRO 9: Volumen específico del hidrógeno

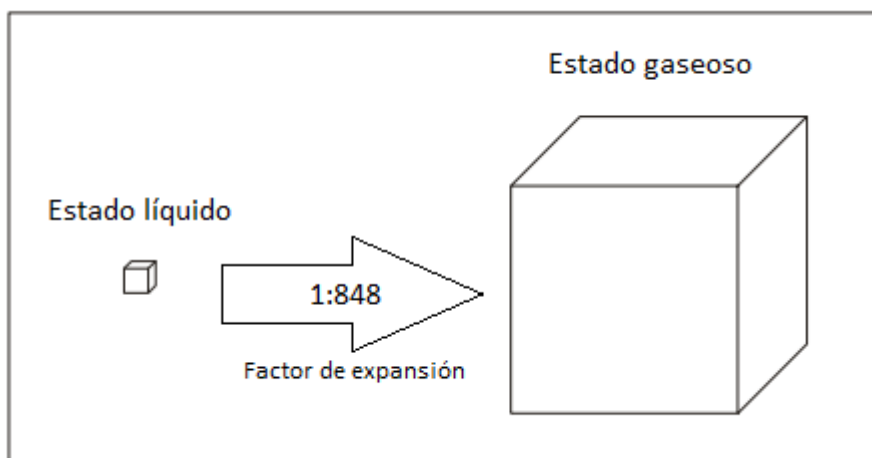
Volumen específico del hidrógeno	
Estado líquido (-253 °C, 1 atm)	0.014 m ³ /kg
Estado gaseoso (20 °C, 1 atm)	11.9 m ³ /kg

(EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

f. Gravedad específica. Es una forma de expresar la densidad relativa, ya que la gravedad específica es la proporción de la densidad de una sustancia, en referencia a otra sustancia bajo las mismas condiciones. Para los gases se usa el aire como referencia y para los líquidos se usa el agua. En estado gaseoso el hidrógeno posee una gravedad específica de 0.0696 y 0.0708 para el estado líquido. Si la gravedad específica de un gas es mayor a 1.0, el gas es más pesado que el aire; y al igual que en los gases, si la gravedad específica de un líquido es mayor a 1.0, se considera más pesado que el agua. (EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

g. Factor de expansión. El factor de expansión del hidrógeno de estado líquido a gaseoso es de 1:848, considerando que el gas se encuentra a condiciones atmosféricas. Esto quiere decir que el hidrógeno en estado gaseoso ocupa 848 veces más de volumen, que en su estado líquido. Debido a la gran diferencia de volumen entre los dos estados, el hidrógeno suele almacenarse en tanques presurizados, que reducen el volumen pero aumentan la presión del gas dentro del tanque de manera notable.

FIGURA 5: Factor de expansión del hidrógeno



(EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

h. Fugas de hidrógeno. La densidad del hidrógeno es muy baja, tanto para su estado líquido como gaseoso, y además en su estado gaseoso posee las moléculas más pequeñas, si éste se compara con los otros elementos. Esto hace que el hidrógeno en su forma gaseosa sea muy difícil de contener, ya que éste puede difundirse o escurrirse a través de los materiales que se usan para la contención de gases. Debido a esto se tiene que mantener un control bastante riguroso sobre los tanques que se van a usar para su almacenamiento. Mejor si se tienen detectores de fugas o indicadores, que indiquen cualquier cambio inesperado en la cantidad de hidrógeno que se tiene en el tanque. Si se llegara a tener una fuga de hidrógeno en su estado líquido, éste se evaporaría rápidamente, debido a que éste posee un punto de ebullición extremadamente bajo.

Las fugas son muy peligrosas, ya que el contacto del hidrógeno con el aire puede producir la combustión del mismo y por lo tanto generar fuego. También cuesta mucho percatarse de las fugas a causa de que el gas es inoloro, incoloro, no tiene sabor y su llama es casi invisible a plena luz del día. Sin embargo, debido a sus propiedades, las fugas de hidrógeno líquido o gaseoso se difunden y se elevan a la atmósfera extremadamente rápido, ayudando a reducir su peligrosidad. Hay que tomar en cuenta que esto solo disminuye la peligrosidad si la fuga es pequeña, ya que una fuga grande puede reaccionar en conjunto con el oxígeno y resultar en un fuego peligroso.

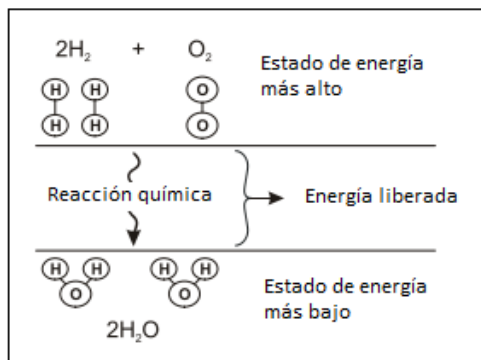
En comparación a otros combustibles comunes como la gasolina y el diesel, el hidrógeno se difunde mucho más rápido. La gasolina y el diesel también se evaporan, pero su difusión es más lenta, por lo que se pueden esparcir lentamente en forma gaseosa y abarcar más área. Por lo que una ignición de una

fuga de estos combustibles resulta mucho más peligrosa que la del hidrógeno, ya que el área afectada sería mayor. (EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

3. Propiedades químicas

a. Reactividad. Todos los combustibles son reconocidos por tener alta reactividad. Cuando las moléculas de un combustible conllevan una reacción de combustión, ésta reacción es acompañada por una liberación de energía que normalmente se utiliza para desarrollar algún tipo de trabajo. En el caso del hidrógeno, éste puede reaccionar formando enlaces con el oxígeno cuando hace contacto con el aire. La siguiente figura muestra las etapas de la reacción desde el estado de energía más alto (hidrógeno y oxígeno por separado), hasta el estado de energía más bajo (hidrógeno y oxígeno enlazados resultando en agua).

FIGURA 6: Estados de energía del hidrógeno



(EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

Este tipo de reacciones químicas necesitan de una energía de activación más baja para desarrollarse, pero sin embargo pueden ser iniciadas por otras formas de energía de activación (chispa eléctrica). Esta chispa acelera la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno, generando una explosión o fuego, y se obtiene vapor de agua como resultado final. El vapor liberado es un vapor sobre calentado por lo que resulta muy difícil verlo. Sin embargo, éste se puede observar después de un tiempo debido a que se enfría y se condensa formando una nube blanca. Esta nube blanca es la que se logra observar en el despegue de un transbordador espacial, ya que estos usan hidrógeno como combustible.

FIGURA 7: Despegue del transbordador espacial "Atlantis" desde la base de lanzamientos 39A en el centro espacial Kennedy



(Sánchez Achutegui, Guillermo Gonzalo 2010)

b. Energía

1) **Contenido energético.** El hidrógeno puede liberar una cantidad específica de energía cuando reacciona con el oxígeno por completo. Esta cantidad de energía puede ser medida y se expresa mediante el valor de calor alto (HHV) y el valor de calor bajo (LHV). La diferencia entre estos valores es el calor de vaporización, que representa la cantidad de energía requerida para vaporizar un combustible líquido. Este valor se expresa en unidades de energía requerida por unidad de masa, kJ/g. A continuación se muestra una tabla comparativa del contenido energético del hidrógeno y otros combustibles.

CUADRO 10: Tabla comparativa del contenido energético del hidrógeno y otros combustibles

Combustible	HHV (a 25 °C, 1 atm)	LHV (a 25 °C, 1 atm)
Hidrógeno	141.86 kJ/g	119.93 kJ/g
Metano	55.53 kJ/g	50.02 kJ/g
Propano	50.36 kJ/g	45.6 kJ/g
Gasolina	47.5 kJ/g	44.5 kJ/g
Diesel	44.8 kJ/g	42.5 kJ/g
Metanol	19.96 kJ/g	18.05 kJ/g

(EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

El hidrógeno cuenta con el contenido energético más alto, a pesar de ser el elemento más liviano (aparte del helio), y es por esto que se en las operaciones espaciales, en donde reducir el peso es un factor esencial. Además, el hidrógeno libera 2.5 veces más de energía que otros combustibles. Esto también nos indica que para fines prácticos, la masa de hidrógeno requerida para una tarea específica equivale aproximadamente a una tercera parte de la masa necesaria de otros combustibles. Sin embargo, esto también indica que una explosión de una masa específica de hidrógeno, libera 2.5 veces más la cantidad de energía que otros combustibles, con la misma masa. Debido a esto las explosiones de hidrógeno en estado gaseoso son consideradas más destructivas, a pesar de que el tiempo de la explosión sea significativamente más corto, en comparación a otros combustibles.

2) **Densidad de energía.** La densidad de energía indica la cantidad de energía por unidad de volumen de un combustible, se expresa en kJ/m³. Este valor permite observar qué tan compactados están los átomos en un combustible y es el producto del contenido energético (LHV) y la densidad del combustible. La densidad de energía del hidrógeno es notablemente baja debido a su baja densidad, pero en relación al peso, el hidrógeno es mejor que cualquier combustible, debido a que es el más ligero. A continuación se muestra una tabla comparativa de la densidad de energía del hidrógeno y otros combustibles.

CUADRO 11: Tabla comparativa de la densidad de energía del hidrógeno y otros combustibles

Combustible	Densidad de energía
Hidrógeno	10,050 kJ/m ³ ; gas (1 atm, 15 °C) 1,825,000 kJ/m ³ ; gas (3,000 psig, 15 °C) 4,500,000 kJ/m ³ ; gas (10,000 psig, 15°C) 8,491,000 kJ/m ³ ; líquido
Metano	32,560 kJ/m ³ ; gas (1 atm, 15 °C) 6,860,300 kJ/m ³ ; gas (3,000 psig, 15 °C) 20,920,400 kJ/m ³ ; líquido
Propano	86,670 kJ/m ³ ; gas (1 atm, 15 °C) 23,488,800 kJ/m ³ ; líquido
Gasolina	31,150,000 kJ/m ³ ; líquido
Diesel	31,435,800 kJ/m ³ ; líquido
Metanol	15,800,100 kJ/m ³ ; líquido

(EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

c. Inflamabilidad. Para iniciar un fuego o explosión se necesitan tres cosas: un combustible, oxígeno y una fuente de ignición.

1) Punto de ignición. Solamente en estado gaseoso se pueden quemar los combustibles. Sin embargo, combustibles como la gasolina y el diesel, que se encuentran en estado líquido en condiciones atmosféricas, deben pasar a estado de vapor para poder quemarse. El punto de ignición indica la temperatura a la que un combustible produce suficientes vapores para poder mezclarse con el oxígeno del aire. Este valor se confunde con la temperatura de auto ignición, que es la temperatura a la cual un combustible prende. A continuación se muestra una tabla comparativa del punto de ignición del hidrógeno y otros combustibles.

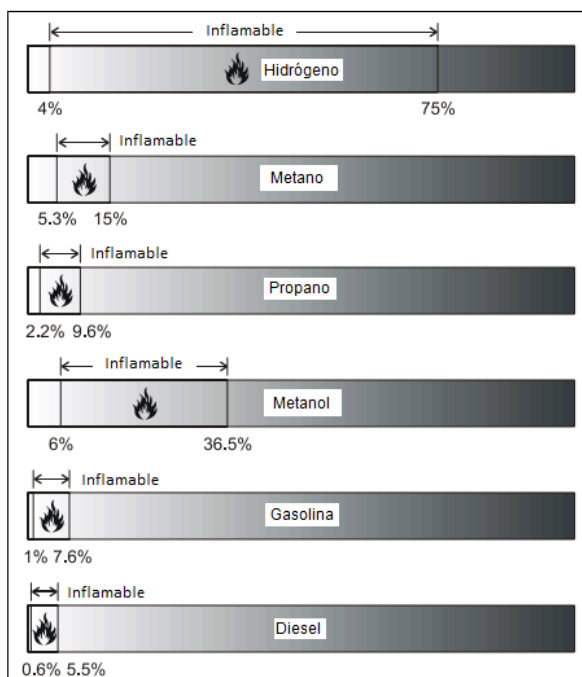
CUADRO 12: Tabla comparativa del punto de ignición del hidrógeno y otros combustibles

Combustible	Punto de ignición
Hidrógeno	< -253 °C
Metano	-188 °C
Propano	-104 °C
Gasolina	-43 °C
Diesel	Entre 52 - 96 °C
Metanol	11 °C

(EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

2) Rango de inflamabilidad. Esta propiedad nos indica entre qué rangos de concentración de hidrógeno (en el aire) se tiene una concentración suficiente para conllevar una propagación del fuego. El límite más bajo es el de inflamabilidad inferior (LFL) y el más alto es el límite de inflamabilidad superior (UFL). Por debajo del LFL no se tendrá una concentración del combustible suficiente en el aire para poder propagar las llamas de fuego del mismo. A continuación se muestra un diagrama comparativo de los rangos de inflamabilidad del hidrógeno y otros combustibles.

FIGURA 8: Diagrama comparativo de los rangos de inflamabilidad del hidrógeno y otros combustibles



(EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

3) Temperatura de auto ignición. Es la temperatura mínima a la que un combustible auto inicia una combustión auto sostenible, en ausencia de una fuente de ignición. A continuación se muestra una tabla comparativa de la temperatura de auto ignición del hidrógeno y otros combustibles.

CUADRO 13: Tabla comparativa de la temperatura de auto ignición del hidrógeno y otros combustibles

Combustible	Temperatura de auto ignición
Hidrógeno	585 °C
Metano	540 °C
Propano	490 °C
Gasolina	257 °C
Diesel	Entre 230 - 480 °C
Metanol	385 °C

(EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

4) Octanaje. Es un valor que mide la capacidad antidetonante de un combustible cuando éste se comprime dentro de una cámara de combustión. Se le llama octanaje ya que se usa el octanaje del octano como estándar o como referencia para medir el octanaje de otros combustibles, éste posee un valor de 100. Esto quiere decir que un combustible con octanaje mayor a 100 posee más resistividad de su auto ignición dentro de una cámara de combustión, que el octano. Entre más alto sea el nivel de octanaje de un combustible, mejor sera la eficiencia de la combustión del mismo. A continuación se muestra una tabla comparativa del octanaje del hidrógeno y otros combustibles.

CUADRO 14: Tabla comparativa del octanaje del hidrógeno y otros combustibles

Combustible	Punto de ignición
Hidrógeno	130
Metano	125
Propano	105
Octano	100
Gasolina	87
Diesel	30

(EERE 2012; *Hidrógeno* 2012)

5) Energía de ignición. Representa la cantidad de energía externa que debe ser aplicada a una mezcla del combustible con oxígeno, para que produzca la combustión de la misma. El tamaño de esta energía debe ser mayor a la energía de la temperatura de auto ignición del respectivo combustible. Es importante mencionar que la energía externa debe poseer la duración (tiempo) necesaria para ocasionar la ignición del vapor del combustible. La energía de ignición del hidrógeno es cualquier valor de energía mayor a 0.02 mJ.

A pesar de que el hidrógeno posee una temperatura de auto ignición mayor a la de otros combustibles, posee la particularidad de requerir menor energía de ignición, volviéndolo más peligroso en este sentido. Otro factor importante es que el hidrógeno posee una baja electro conductividad, esto quiere decir que una corriente o agitación del hidrógeno puede auto generar una carga electroestática, que puede resultar en una chispa suficiente para encender el hidrógeno. Es por esto que todo tipo de tuberías y equipo que involucre al hidrógeno debe de estar aterrizado (conectado a tierra) y así evitar la acumulación de cargas electroestáticas.

6) **Velocidad de combustión.** Es la velocidad a la que una llama se propaga en una mezcla inflamable de combustible. Este término no es lo mismo que la velocidad de llama, ya que la velocidad de llama está dada por la suma de la velocidad de combustión y la velocidad de desplazamiento de una mezcla de combustible, sin combustión. El hidrógeno posee una velocidad de combustión de 2.65 a 3.25 m/s, ya que la concentración del mismo afecta la inflamabilidad como se mencionó anteriormente en el rango de inflamabilidad. Este valor es mayor al de otros combustibles, indicando que el fuego causado por una mezcla de hidrógeno posee un tiempo de vida menor a la de los demás combustibles.

7) **Características de la llama.** Las llamas del hidrógeno son casi invisibles a plena luz del día, esto se debe a que poseen un color azul pálido. La ausencia de hollín en la combustión de hidrógeno es otro factor que dificulta percatarse de las llamas del mismo. A continuación se muestra una imagen de la llama del hidrógeno y cómo ésta quema un objeto.

FIGURA 9: Llama del hidrógeno

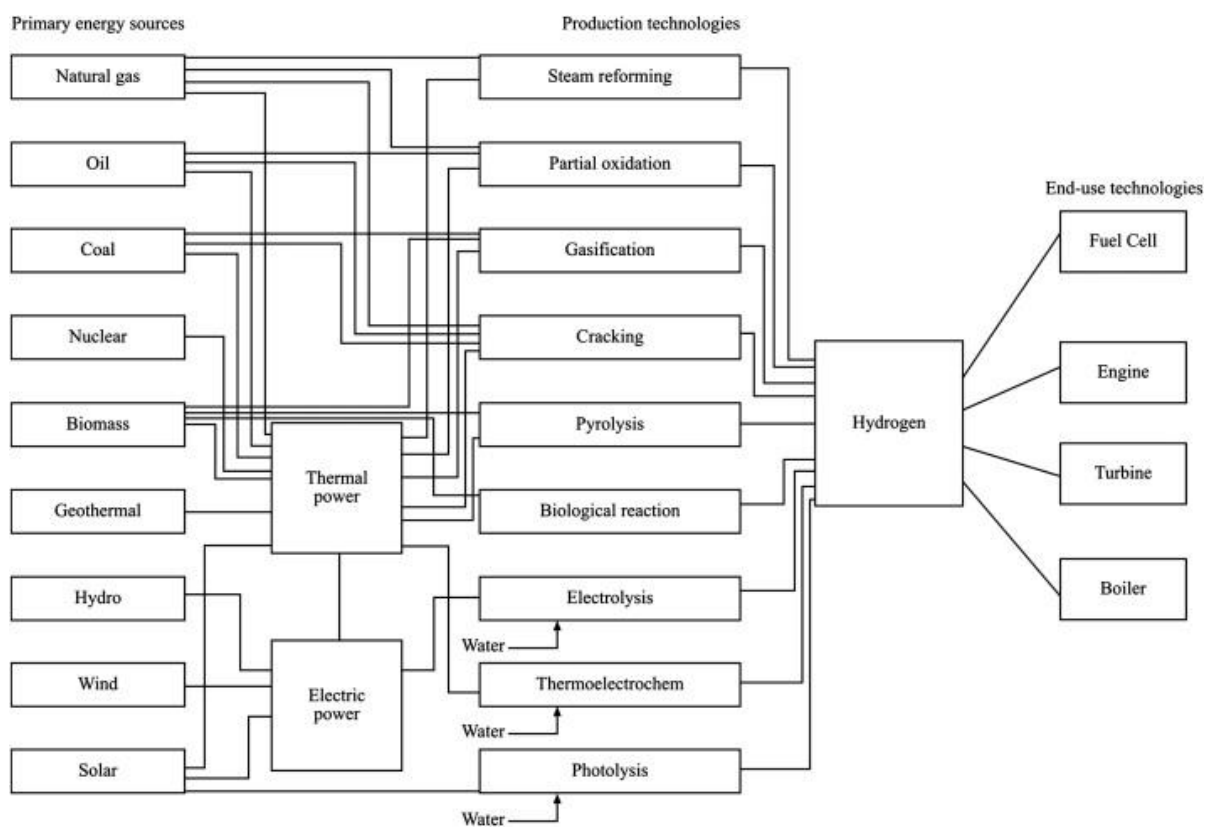


(NASA 2012)

d. **Fragilización.** Este fenómeno se da cuando un material se expone o está en contacto constante con hidrógeno. Básicamente la fragilización por hidrógeno causa que los materiales (metálicos y no metálicos) se dañen o se desgasten, esto puede llegar a generar fugas o accidentes. Es por esto que se debe evaluar muy detalladamente que tipo de sistema se debe de usar para almacenar y tratar hidrógeno.

4. Maneras de obtener hidrógeno. Cuando se habla del hidrógeno como una alternativa para producir energía, lo importante y lo más complicado es saber de dónde extraerlo. A pesar de ser el elemento más abundante en el universo, éste necesita ser extraído de otros compuestos para poder ser utilizado. Básicamente el hidrógeno se puede obtener de dos maneras generales: la separación del hidrógeno de elementos y compuestos químicos, como el carbono para los combustibles fósiles; y separando el oxígeno del agua. Es importante mencionar que para extraerlo, siempre se tendrá que utilizar algún tipo de energía. La imagen siguiente indica las fuentes y algunos procesos con los que el hidrógeno puede ser extraído. Luego se detallaran los procesos más relevantes para este trabajo. (Valentín, Sergio 2012)

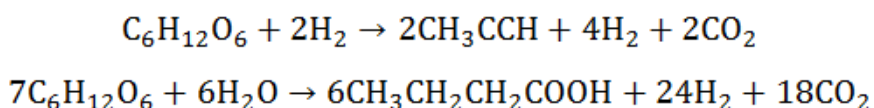
FIGURA 10: Fuentes y algunos procesos con los que el hidrógeno puede ser extraído



(Valentín, Sergio 2012)

a. **Producción por fermentación oscura.** La producción de hidrógeno por este método está dada por bacterias anaeróbicas que crecen en oscuridad y usan sustratos ricos en carbohidratos. Los subproductos de la fermentación lo constituyen los ácidos acético (máximo teórico de 4 mol H₂/mol glucosa) y butírico (máximo teórico de 3.4 mol H₂/mol glucosa), con lo que los rendimientos prácticos de hidrógeno en la fermentación oscura están alrededor de 2 mol H₂/mol glucosa.

CUADRO 15: Rendimiento de hidrógeno en la fermentación oscura químicamente



Las fermentaciones se llevan a cabo a diferentes temperaturas, desde mesófilas (25- 40°C), hasta termófilas (> 50°C), produciéndose gas que contiene H₂, CO₂, CO, H₂S y, en alguno casos, CH₄. Las especies bacterianas que producen hidrógeno por este sistema, y que son más conocidas, son las que corresponden a los géneros Enterobacter, Bacillus y Clostridium.

La producción de hidrógeno por estas bacterias depende de condiciones del proceso como pH, tiempo de retención hidráulica (HRT) y presión parcial del gas. La formación de los productos obedece a las condiciones ambientales en las cuales los microorganismos crecen. Productos como etanol, butanol y lactato, contienen hidrógeno que todavía no se ha liberado; así, para maximizar la cantidad de hidrógeno, el metabolismo de la bacteria debe enfocarse hacia la producción de ácidos grasos volátiles (VFA).

1) Microorganismos e inóculos. La producción de hidrógeno por fermentación oscura se puede llevar a cabo tanto con cultivos puros, con gran variedad de cepas de microorganismos y con cultivos mixtos que por lo general provienen de productos de desecho. Ambos tipos de cultivos sirven como inóculos (sustancia contaminante) para la fermentación.

2) Cultivos puros. Con respecto a los cultivos con cepas (variantes de una bacteria) puras de microorganismos, se tienen referenciados algunos géneros y especies de bacterias analizadas (TABLAS 6 y 7). Dentro de los microorganismos anaerobios estrictos, los cuales son muy sensibles a la presencia de oxígeno, se encuentra el género Clostridium, además de bacterias del rumen, termófilos y metanógenos.

El género Clostridium ha sido uno de los más estudiados, tanto en cultivo por lotes (TABLA 6) como en continuo (en menor proporción) y por lotes alimentados (TABLA 7), utilizando glucosa; pero se

ha visto que existen especies que son capaces de utilizar otros carbohidratos simples como xilosa, arabinosa, galactosa, celobiosa, sacarosa y fructosa, lo que sugiere que se pueden utilizar sustratos pretratados más complejos como almidón, celulosa y hemicelulosa.

Este género muestra tener un rendimiento de alrededor de 2 moles H₂/mol glucosa que, con respecto a otros microorganismos, ha sido uno de los mejores; además produce una mezcla de subproductos en la fermentación como ácidos acético y butírico, y algunos alcoholes, que son los subproductos principales del metabolismo del hidrógeno.

Bacterias del rumen, como *Ruminococcus albus*, producen el hidrógeno junto con otros subproductos no derivados del metabolismo del hidrógeno propiamente, pero hacen falta más estudios sobre éstos. Muchos termófilos e hipertermófilos, como los de los géneros *Spirocheta*, *Anaerocellum*, *Caldicellulosiruptor*, *Clostridium*, *Dictyoglomus*, *Fervidobacterium*, *Thermoanaerobacter* y *Thermotoga*, producen hidrógeno a partir de sustratos celulolíticos, algunos de ellos con una eficiencia mayor al 80% del valor teórico (4mol H₂/mol glucosa), pero presentan la desventaja de tener un bajo consumo de glucosa y bajas densidades celulares en los cultivos. Aunque se sabe que los metanógenos consumen hidrógeno para producir metano, bajo condiciones de inhibición de producción de éste, se ha reportado producción de H₂ y CO₂ a partir de CO y H₂O por una cepa de *Methanosarcina barkeri*, en una modificación del proceso de reacción de intercambio gaseoso.

CUADRO 16: Procesos por lotes para fermentación oscura usando cultivos puros (4litros de sustancia pura)

Microorganismos	Sustrato	Ph	Temperatura (°C)	Productividad H ₂ (ml/h)	Rendimiento H ₂ (mol H ₂ /mol sustrato)	Otros Product	Referencias
<i>Clostridium butyricum</i> CG55	Sacarosa	5.5	37	163	2.78	Acetato, propionato y butirato	LIU Y Shen, 2004
<i>Clostridium pasteurianum</i>	Almidon	8	35	18	194	Acetato, propionato y butirato	Chen y otros, 2005
<i>Clostridium saccharoperbutyl acetanicum</i>	Suero de Leche	6	30	47.07	2.8	Acetato, propionato y butirato	Yokoi y otros, 2001
<i>Clostridium thermocellum</i> 27405	Fibre de madera	7	NI	NI	1.6	Acetato, etanol, lactato y formato	Levin y otros, 2006
<i>Enterobacter aerogenes</i> y <i>Rodhobacter</i> sp M19	Residuos de almidón de papa	7.5	35	NI	7	NI	Ishikawa y otros, 2006
<i>E. coli</i>	Glucosa	6.8	30	52	2.4	Acido Valérico	Bisailon y otros, 2006
<i>E. coli</i>	Glucosa	6.8	37	NI	2	NI	Aki y otros 2006
<i>E. coli</i> MC13-4	Glucosa	6.8	37	10	1.27	Acido acético y etanol	Redwood y Macaskie 2006

CUADRO 17: Procesos en continuo para fermentación oscura usando cultivos puros (4 litros de sustancia pura)

Clostridium thermolacticum	Medio Comercial	7	37	NI	0.0574	Acetato, Butanol, Lactato	Collet y otros, 2004
Clostridium acetobutylicum ATCC824	Glucosa	NI	30	27.2	0.9	Acetato y butirato	Zhang y otros, 2006

Con respecto a los anaerobios facultativos, que presentan resistencia a la presencia de oxígeno y por lo tanto tienen la ventaja de consumir el oxígeno rápidamente en los biorreactores garantizando anaerobiosis, están *Enterobacter*, *E. coli* y *Citrobacter*. A pesar que las bacterias del género *Enterobacter* no presentan una inhibición a altas presiones de hidrógeno, generalmente tienen rendimientos más bajos que *Clostridium*, pues se producen otros subproductos propios del metabolismo del hidrógeno como el lactato, aunque se han desarrollado mutantes para bloquear estos metabolitos no deseados y mejorar la producción. Con *E. coli* se ha demostrado la producción de hidrógeno a partir de formiato en anaerobiosis debido a su actividad formiato-hidrógeno-liasa y *Citrobacter* produce hidrógeno por reacción de intercambio gaseoso.

3) Cultivos mixtos. Se ha podido aislar microflora de cultivos mixtos de varias fuentes de desecho como compost, lodos (fangos) y suelos. Esta microflora a menudo contiene bacterias no deseadas para la producción de hidrógeno como son los metanógenos, los cuales consumen el hidrógeno producido y lo convierten a metano. Generalmente se utilizan pretratamientos con calor y/o pHs extremos para enriquecer la microflora, los cuales inhiben la actividad de los consumidores de hidrógeno, mientras las bacterias esporuladas, que por lo general son del género *Clostridium*, sobreviven; otros de los métodos utilizados en el enriquecimiento de microflora productora de hidrógeno son aireación, inhibición de metanógenos por ácido 2-bromoetanosulfónico (BESA) y yodopropano. Cuando se trabaja en continuo, la presencia de metanógenos en el cultivo se puede controlar aumentando los tiempos de retención hidráulica (HRT) para promover el lavado celular de metanógenos, que tienen una tasa de crecimiento baja, y seleccionar las bacterias que producen hidrógeno. Una de las ventajas del uso industrial de los cultivos mixtos, con respecto a los cultivos puros, es que estos los cultivos puros son más sensibles a la contaminación de bacterias consumidoras de hidrógeno. Se ha reportado la utilización de cultivos mixtos con lodos activados, lodos digeridos anaeróbicamente, compost de desechos, sedimentos de lagos y suelos de cultivos agrícolas; algunos de éstos por lotes y en continuo, mostrando rendimientos cercanos a 2 moles H₂/mol glucosa (TABLAS 8 y 9), demostrando la presencia dominante de *Clostridium* en los cultivos enriquecidos por tratamientos o acondicionamiento de estos inóculos.

CUADRO 18: Procesos por lotes para fermentación oscura usando cultivos mixtos (4 litros de mezcla)

Sustrato	Ph	Temperatura (°C)	Productividad H2 (ml/h)	Rendimiento H2 (mol H2/mol sustrato)	Otros Product	Referencias
Agua residual	7	55	365	NI	Acetato y butirato	Zhang y otros, 2003
Aguas residuales de procesadoras de alimentos	6	30	275	NI	Acetato, etanol y propionato	Kawagoshi y otros, 2005
Glucosa	11.5	37	16.9	NI	Acetato,	Casi y otros
Glucosa	6	35	NI	1.4	Butirato y acetato	Oh y otros, 2003
Glucosa	5.7	35	133.2	NI	Acetato, etanol propionato y butirato	Cheong y Hansen, 2006
Cascarilla de arroz	4.5	37	87.5	NI	Acetato y butirato	Zhu y Beland, 2006
Sacarosa	6.7	40	468	1.74	Acetato y butirato	Chen y otros, 2006
Sacarosa	7.5	35	NI	5.64	Acetato y butirato	Hussy y otros, 2005
Sacarosa y desechos de piña	7.5	37	745	2.46	NI	Asada y otros, 2006

CUADRO 19: Procesos en continuo para fermentación oscura usando cultivos mixtos (4 litros de mezcla)

Sustrato	Ph	Temperatura (°C)	Productividad H2 (ml/h)	Rendimiento H2 (mol H2/mol sustrato)	Otros Product	Referencias
Sacarosa	6.8	35	367	1.6	Valerato y etanol	Chang y otros, 2002
Sacarosa	7.2	35	293	4.48	Ácido acético, butírico y etanol	Zhang y otros, 2006
Agua residual	6.7	40	766	3.15	Ácido acético y butírico	Fang y Liu, 2002
Agua residual	4	37	222	1.12	Acetato y butirato	Hussy y otros, 2005
Agua residuales de desechos de alimentos	6.5	35	694.4	NI	Ácidos grasos volátiles	Lin y Chang, 2004
Almidon de maiz	3.8	36	708.3	NI	Ácido acético, propiónico, butírico, valérico y etanol	Zhang y otros, 2006
Sacarosa refinada	5.2	32	420	1.9	Acetato y butirato	Claassen y otros, 2005
Glucosa	5.5	36	191.6	2.1	Acetato y butirato	Liu y Shen, 2004
Glucosa	5.5	37	325	1.9	Acetato y butirato	Gavala y otros, 2005

4) Sustratos y pretratamientos. Para que la producción de biohidrógeno sea un proceso sostenible, los sustratos (es el objeto de la acción de otros reactivos) utilizados deben cumplir ciertos criterios. Los sustratos deben ser producidos a partir de recursos renovables, estar disponibles en suficiente cantidad y/o concentración para que la fermentación ocurra de forma eficiente y se produzca hidrógeno de una forma energéticamente favorable (biohidrógeno como fuente de energía renovable), y que los pretratamientos sean mínimos y de bajo costo. Los carbohidratos son los sustratos preferidos como fuente de carbono; la glucosa y la sacarosa han sido los sustratos fermentables más estudiados a escala de laboratorio, aunque también se han utilizado otros como la maltosa, lactosa, galactosa, manosa y xilosa. Aunque los sustratos puros han sido ampliamente estudiados, las investigaciones más recientes se enfocan en la utilización de desechos, como sustratos aptos para un proceso sostenible. El rango de los sustratos orgánicos que se podrían usar es tan amplio como el rango de microorganismos utilizados en la producción de hidrógeno por vía fermentativa. Existe gran variedad de sustratos provenientes de recursos renovables como los azúcares contenidos en productos agrícolas como maíz, arroz, trigo, sorgo o material lignocelulósico de la biomasa. Aunque algunas bacterias del género *Clostridium* contenidas en cultivos mixtos han presentado actividades celulolíticas, no se han encontrado bacterias que produzcan hidrógeno a partir de materiales celulósico y hemicelulósico crudos.

5) Sustratos de material de desecho. Existe gran variedad de desechos que contienen los sustratos aptos para la producción de biohidrógeno. Los azúcares simples como glucosa, lactosa y sacarosa están presentes en muchos efluentes industriales y también pueden ser obtenidos a partir de desechos agrícolas. Se pueden encontrar grandes contenidos de almidón y celulosa en desechos agroindustriales. Los desechos de las industrias de alimentos poseen gran contenido de carbohidratos en forma de azúcares simples, almidón y celulosa que pueden ser utilizados en la producción de biohidrógeno. Estos desechos sólidos contienen cantidades de carbohidratos y proteínas que varían en concentración y de esta manera deben ser ajustados para obtener las condiciones óptimas del bioproceso. Así mismo, como las aguas residuales de estas industrias procesadoras de alimentos son ricas en carbohidratos, también pueden ser utilizadas; se han usado aguas residuales de productos lecheros, restos de la industria de la oliva, desechos de panadería, melazas y cervecería.

Lodos de plantas de tratamiento, que contienen gran cantidad de carbohidratos y proteínas, se usan tradicionalmente para la producción de metano, pero se ha encontrado que con pretratamientos pueden ser utilizadas como sustratos para la producción de biohidrógeno, teniendo en cuenta los debidos cuidados en cuanto a esterilidad.

6) Pretratamientos del sustrato. Cuando se utilizan sustratos de naturaleza compleja, su capacidad de ser biodegradables disminuye. Para aumentar la biodegradabilidad, y por tanto la calidad de estos sustratos, se tienen que someter a ciertos procesos de pretratamiento. Generalmente se aplican procesos térmicos (temperaturas de ebullición por ciertos periodos de tiempo), químicos (tratamiento con ácidos y bases a pHs extremos) o enzimáticos, para hidrolizar el almidón y la celulosa y dejar el medio con carbohidratos libres para la fermentación. Debido a que gran parte de estos residuos están constituidos por material lignocelulósico y que éste promete ser uno de los sustratos utilizados en el futuro, se debe someter a pretratamientos más enérgicos. Mientras la celulosa y la hemicelulosa pueden someterse a pretratamientos más suaves y luego utilizarlas en la fermentación, la degradación de la lignina inhibe el crecimiento microbiano. Así, se deben desarrollar procesos de pretratamiento que puedan ser útiles para obtener sustratos más fácilmente fermentables y que no causen efectos dañinos en el proceso.

Los pretratamientos de las aguas residuales industriales ricas en compuestos orgánicos consisten en la eliminación de ciertos componentes indeseables, así como en la desnaturalización de proteínas y sustancias orgánicas complejas, dilución de la carga orgánica, regulación del pH y adición de ciertos componentes necesarios para llevar a cabo el proceso fermentativo.

7) Requerimientos nutricionales. Se debe tener cuidado con los requerimientos de nutrientes inorgánicos para una producción óptima de biohidrógeno a partir de sustratos que contienen carbohidratos. Así como el nitrógeno y el fósforo son muy importantes en la producción de hidrógeno, el azufre y el hierro son componentes esenciales en la producción de las hidrogenasas, las cuales son las encargadas de generar el hidrógeno. Se ha visto también que la limitación de hierro en el medio promueve la formación de metabolitos no asociados al metabolismo del hidrógeno, obteniéndose menor producción de hidrógeno. Según esto, se deben determinar las cantidades necesarias de nutrientes inorgánicos y de otros elementos traza para lograr una eficiente producción de hidrógeno a diferentes condiciones; por ejemplo, a diferentes concentraciones de sustrato, donde el fósforo y el hierro deben estar presentes a niveles tales que no lleguen a ser limitantes.

8) Condiciones de operación del proceso. Los distintos parámetros y condiciones de operación (principalmente pH, HRT, presión parcial de hidrógeno y CO₂, subproductos, temperatura, concentración inicial de sustrato, edad y volumen del inóculo, etc.) deben ser controlados durante el proceso de fermentación oscura, pues estos pueden afectar directamente la eficiencia de producción, el contenido del biogás, el tipo de ácidos producidos y la tasa específica de producción de hidrógeno. Cuando se trabaja con cultivos mixtos, un descontrol en uno de estos parámetros podría afectar el metabolismo de la microflora productora de hidrógeno o cambiar las comunidades de microorganismos presentes en el proceso y, por tanto, alterar los subproductos de la fermentación. Como ya se ha dicho, los ácidos acético y butírico son los subproductos que están directamente relacionados con la producción de hidrógeno y por lo tanto el rendimiento de hidrógeno es mucho mayor cuando estos se obtienen en alto porcentaje. Por esta razón, para maximizar el rendimiento de hidrógeno, se deben buscar las condiciones óptimas para direccionar el metabolismo de las bacterias hacia la producción de ácidos grasos volátiles (VFA), específicamente acetato y butirato, y fuera de la producción de alcoholes (como etanol y butanol) y ácidos reducidos (como el lactato) que contienen hidrógeno que todavía no ha sido liberado como gas.

9) Tipos de operación. La producción de biohidrógeno por fermentación oscura se puede llevar a cabo en modos de operación por lotes, continuo o lotes alimentados. Los procesos por lotes, se han llevado a cabo más en el laboratorio para investigar los requerimientos nutricionales y obtener rendimientos cuando se tienen sustratos particulares. Estos procesos se han realizado a volúmenes de no más de 4L con agitación magnética. Quizás uno de los usos principales en la producción de hidrógeno de los procesos por lotes, cuando se tienen cultivos mixtos, es el acondicionamiento del inóculo antes de la fermentación, pues esto permite efectuar el proceso de germinación de esporas de las bacterias productoras de hidrógeno y así evitar un posible lavado de células en un proceso continuo. Además, este tiempo de adaptación por lotes permite disminuir el proceso de adaptación del micro-organismo, haciendo que cuando se llegue a realizar la fermentación, éste empiece a crecer y producir hidrógeno rápidamente.

Las bacterias del género *Clostridium*, reportadas como una de las mejores productoras de hidrógeno, han sido usadas en procesos por lotes a gran escala para producir solventes como acetona, butanol y etanol; para la producción de hidrógeno, un proceso continuo es más atractivo, pues el modo por lotes involucra mayores tiempos de fermentación y no se garantizan condiciones de estado estacionario, que se pueden alcanzar con un proceso en continuo, que son de gran importancia para una óptima producción de hidrógeno.

Los procesos por lotes alimentados no han sido muy utilizados; los pocos estudios que se han hecho, han sido para evaluar condiciones de germinación de bacterias esporuladas, un proceso que necesita de nutrientes específicos como aminoácidos para que se pueda llevar a cabo, pero no son muy recomendables, pues se ha visto que la interrupción en la alimentación por un periodo de 6 h puede llevar a

las bacterias a esporular de nuevo de una forma irreversible y por esto se recomienda un suplemento de nutrientes continuo.

Aunque todavía no se tiene un proceso continuo económicamente factible, en los últimos años se han hecho algunos cambios para optimizarlos. Se ha investigado mucho en fermentación oscura en continuo con microflora mesofílica y termofílica. Esta última podría ser apropiada si el proceso se acopla a otro que esté asociado a una generación de calor, cuya energía sea aprovechable para el proceso termofílico; de lo contrario esta operación es una opción menos favorable técnica y económicamente hablando.

En un proceso continuo es factible, y mucho más fácil, controlar el pH, HRT, presión parcial de hidrógeno y CO₂ y los subproductos del proceso, que, son condiciones determinantes a la hora de optimizar la producción.

10) Efecto del pH, HRT y de la presión parcial de los gases en un proceso continuo. Con el fin de disminuir el consumo del hidrógeno por parte de bacterias metanógenas, se usan condiciones especiales en la fermentación, como bajos pHs y cortos tiempos de retención hidráulica (HRT).

En cuanto al pH, la producción se da en un amplio rango, encontrándose que a pHs menores de 4.0 y mayores de 12.0 se inhibe por completo la producción de hidrógeno. Los rangos de producción varían entre 6.0 y 6.8 con rendimientos aceptables para la fermentación con cultivos mixtos.

Se ha encontrado también que a un pH inicial controlado de 6.0, la producción de hidrógeno es más eficiente que si no se controla, cambiando el patrón de fermentación al pasar de producir ácido acético y butírico a sólo ácido butírico y, luego de algún tiempo, a ácido láctico, lo que sugiere un cambio en la comunidad bacteriana. De esta manera, la producción de hidrógeno y ácidos acético y butírico como principales subproductos es más conveniente a pH menores o iguales a 6.0 que a pHs más neutros, en los cuales se encuentran subproductos no asociados al metabolismo del hidrógeno.

En la fermentación es necesario evitar que se incremente la proporción de ácidos acético y butírico no disociados (el incremento ocurre cuando el pH cae a sus pKa de 4.74 y 4.81, respectivamente), pues estos pueden pasar a través de la membrana de las bacterias, causando un colapso en el gradiente de pH de ésta y la bacteria produciría solventes no deseados y quizás esporule o muera.

El tiempo de retención hidráulica (HRT) puede afectar considerablemente las fermentaciones en continuo, siendo el uso de cortos tiempos de retención lo más ventajoso, al lavar las bacterias productoras de metano; éstos también reducen el tamaño del reactor y, así, el costo del proceso. Se ha concluido que el

HRT presenta una selección hidrodinámica de las poblaciones de cultivos mixtos, estabilizándolas por el lavado de bacterias productoras de propionato a un HRT de 6 h.

La presión parcial de hidrógeno en la fase líquida es uno de los factores claves que afectan la producción de hidrógeno, pues si ésta es alta afecta directamente las reacciones metabólicas de la fermentación. Así, se debe controlar la presión parcial de hidrógeno controlando parámetros que la afectan como la agitación, la concentración de sustrato, la purga con gases inertes (teniendo en cuenta que no se baje mucho la concentración de hidrógeno en el biogás) y la extracción del biogás a través de membranas.

11) Tipos de reactores. La configuración de biorreactor más utilizada para la producción de biohidrógeno por fermentación, es el reactor continuo de tanque agitado (CSTR). También existen otros tipos de biorreactores que actualmente operan, la mayoría basados en los procesos de digestión anaeróbica para producir metano. En la producción de biohidrógeno, los reactores deben retener las bacterias productoras para obtener una mayor capacidad catalítica de éstas y permitir grandes tasas de carga orgánica, lo que a su vez permite llegar a altas tasas volumétricas de producción de hidrógeno, sin dejar de lado que se debe evitar la retención de bacterias metanógenas o productoras de propionato.

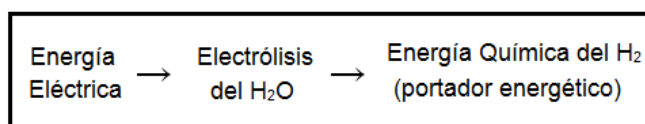
Se han utilizado reactores biológicos secuenciales (SBR) en los cuales los micro-organismos son retenidos por un periodo de inmovilización y se han encontrado tasas volumétricas y específicas de producción de hidrógeno similares a las encontradas en CSTRs.

Los métodos para retener la biomasa en los reactores incluyen la inmovilización en matrices de etilén-vinil-acetato (EVA), celulosa, capaz de alginato-polivinil-acetato, carbón activado y alginato de calcio, aprovechando la formación de biopelículas en estos soportes. También se ha retenido la biomasa con membranas, pero no se recomienda como una buena opción, pues los biorreactores de membrana poseen grandes costos de operación. Otras de las configuraciones que también han sido utilizadas son reactor de lecho fluidizado (FBR), de lecho empacado (PBR) y anaeróbico bafleado de tres compartimentos (ABR).

La retención de bacterias para producir hidrógeno puede incrementar la biomasa y las tasas de carga orgánica, además de presentar ventajas en la creación de ambientes locales anaeróbicos que favorecen el proceso. Las principales configuraciones de biorreactores de lecho empacado con biomasa inmovilizada, generalmente cultivos mixtos libres de metanógenos, son el reactor de lecho ascendente anaerobio (UASB) y el reactor de cargador inducido granular (CIGSB).

b. Electrólisis del agua. Como se mencionó anteriormente, en la electrólisis del agua se usa electricidad para dividir el agua en oxígeno e hidrógeno. La electrólisis es uno de los métodos más interesantes y amigables con el medio ambiente, debido a que no requiere del uso de ningún tipo de combustible fósil durante el proceso. Sin embargo, éste método no se usa debido a que resulta ser muy caro en comparación a los otros métodos que involucran el uso de combustibles fósiles. El resultado de este proceso es hidrógeno gaseoso con una pureza alta. Lo bueno de este proceso es que la electricidad que se usa para el mismo puede obtenerse de cualquier fuente renovable, como la energía eólica y solar.

FIGURA 11: Esquema energético de la electrólisis



(Valentín, Sergio 2012)

Para llevar a cabo este proceso se usa un electrolizador, el cual es la clave y parte más importante del proceso. Un electrolizador está compuesto por una serie de celdas, cada una con un electrodo positivo y uno negativo. El electrodo positivo o ánodo, generalmente está hecho de níquel y cobre, cubiertos por óxidos de metales como manganeso, tungsteno y rutenio. Estos metales presentes en el ánodo aceleran el apareamiento del oxígeno atómico para formar pares de oxígeno en la superficie del ánodo. El electrodo negativo o cátodo, generalmente está hecho de níquel cubierto de platino, que actúa como catalizador. Un catalizador permite y acelera el apareamiento del hidrógeno atómico para formar pares de hidrógeno en la superficie del cátodo. Es importante mencionar que en medio de estos electrodos debe haber un separador, el cual impide que el hidrógeno y el oxígeno se vuelvan a mezclar. Por lo general, éste separador está hecho de materiales compuestos de asbesto y también permite la transferencia de iones entre los electrodos. Otro aspecto importante de este sistema es que el agua debe ser conductora de electricidad, esto se logra añadiendo iones de hidroxilo o hidrógeno en la forma de potasio alcalino (KOH), a estas sustancias se les conoce como electrolitos.

A continuación se muestran las reacciones que suceden en los dos electrodos:

- Reacciones en el ánodo (electrodo positivo):
 - $\text{OH}^- \rightarrow \text{OH} + \text{e}^-$
 - $\text{OH}^- \rightarrow \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}$
 - $\text{O} + \text{O} \rightarrow \text{O}_2$

En la primera reacción se oxida un ion cargado negativamente de hidroxilo. Mientras que en la segunda reacción el ion de hidroxilo reacciona para formar átomos de hidrógeno y oxígeno. La última reacción muestra el enlace que se forma entre el átomo de oxígeno con el metal del ánodo y otro átomo de oxígeno para formar una molécula de oxígeno en forma de gas.

- Reacciones en el cátodo (electrodo negativo):

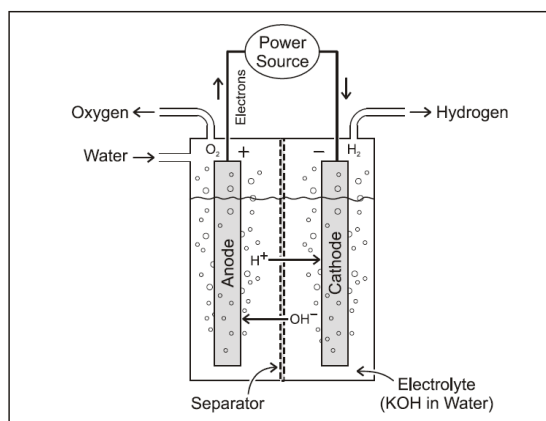
- $K^+ + e^- \rightarrow K$
- $K + H_2O \rightarrow K^+ + H + OH^-$
- $H + H \rightarrow H_2$

(Valentín, Sergio 2012)

Primero un ion de potasio (proveniente del KOH) con carga positiva se reduce. En la segunda reacción este ion de potasio reacciona con el agua para formar un átomo de hidrógeno y un ion de hidroxilo. Por último, en la tercera reacción, el átomo de hidrógeno forma un enlace con el metal del cátodo y se combina con otro átomo de hidrógeno para formar una molécula de hidrógeno en estado gaseoso. Éste es el hidrógeno gaseoso que se utiliza como combustible. Es importante mencionar que el potasio (K^+) proveniente del potasio alcalino (KOH), nunca deja el sistema debido a que éste se queda en el sistema como electrolito.

La siguiente figura muestra los componentes y el proceso descrito anteriormente:

FIGURA 12: Electrólisis del agua en un electrolizador



(EERE 2012)

Existe otra forma más sencilla de ver las reacciones en conjunto que suceden durante la electrolisis del agua, ésta reacción química se expone a continuación:



(Fuel Cell Markets 2012)

Como se puede observar en la ecuación anterior, la proporción de producción de hidrógeno y oxígeno a partir del agua es de 2:1. Esto quiere decir que por cada dos moléculas de hidrógeno generadas, se generará una molécula de oxígeno.

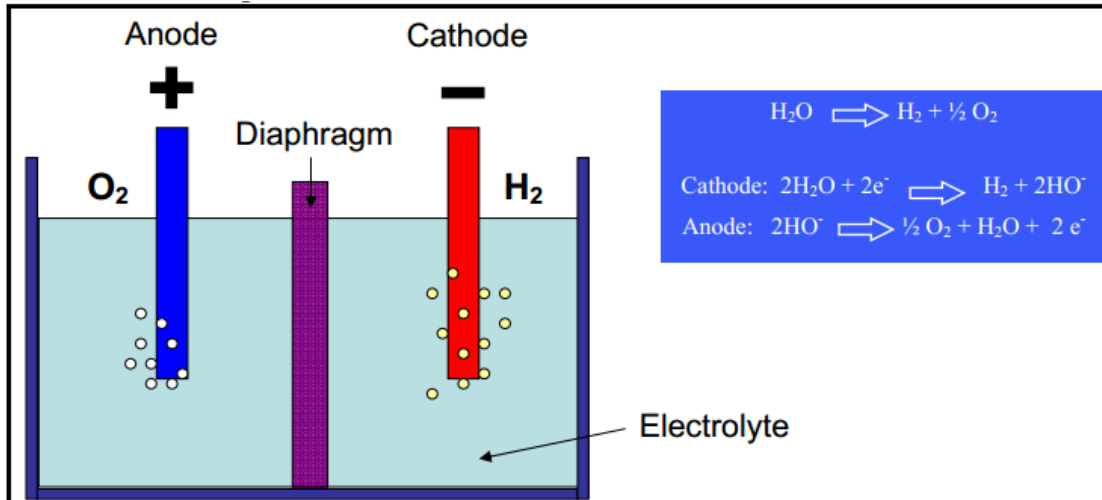
Existen diferentes mecanismos, con materiales que aumentan la eficiencia del sistema, para desarrollar la electrolisis del agua. Estos mecanismos o celdas de electrolisis se diferencian de acuerdo al tipo de electrolito que usan. Básicamente existen dos tipos de electrolizadores, los que operan a temperaturas bajas y los que operan a temperaturas altas. En este trabajo solo se estudiarán los electrolizadores que operan a bajas temperaturas, debido a que los que operan a temperaturas elevadas, son más complejos y necesitan de mucha energía para mantener su temperatura de operación.

Existen dos tipos de electrolizadores o celdas de electrolisis que operan a baja temperatura, estas son: las alcalinas y las basadas en una membrana de intercambio de protones, más reconocidas como celdas PEM (Proton Exchange Membrane). A continuación se describen éstos dos tipos de electrolizadores, haciendo énfasis en los electrolizadores PEM, ya que son los más relevantes para el estudio desarrollado en este trabajo.

1) Electrolizadores alcalinos. Los electrolizadores alcalinos, son una tecnología que ya lleva varios años en el mercado. Al igual que en cualquier electrolizador, poseen un cátodo y un ánodo. Su funcionamiento requiere de una solución acuosa compuesta generalmente de agua y de hidróxido de potasio (KOH), que actúa como electrolito. El hidróxido de potasio puede ser reemplazado por hidróxido de sodio (NaOH) y otros electrolitos similares. Esta solución acuosa se descompone en el cátodo para generar hidrógeno y hidróxido. Luego el hidróxido fluye a través del electrolito y un diafragma (separador), que lleva el mismo hacia el ánodo, en donde éste se descompone y se libera oxígeno. Este tipo de electrolizadores pueden llegar a generar hidrógeno con una eficiencia de hasta 70%.

La figura siguiente muestra los componentes, la reacción global y las reacciones que se llevan a cabo en el cátodo y el ánodo de un electrolizador alcalino.

FIGURA 13: Electrolizador alcalino



(Alkaline electrolysis 2012)

2) **Electrolizadores PEM.** Este tipo de electrolizadores son los más atractivos en la actualidad debido a su simpleza y diseño compacto. El componente principal en las celdas PEM es una membrana hecha de un polímero conductor de protones, que está cubierta con materiales catalizadores de ambos lados. Un protón es una partícula subatómica con el símbolo p+, que posee una carga positiva, los electrones poseen carga negativa y los neutrones no poseen ningún tipo de carga por lo que son considerados neutrales. Es importante mencionar que ésta membrana facilita el transporte de los protones, pero impide el paso de cualquier tipo de ion negativo. Cuando se aplica un voltaje de corriente directa (CD), mayor al que se necesita para ocasionar la descomposición del agua, a sus electrodos, el electrolizador PEM separa el agua en oxígeno e hidrógeno. El voltaje teórico que ocasiona la descomposición del agua es de 1.23 V, sin embargo, debido a la resistencia a la transición del agua, se necesitan voltajes más altos en la práctica real del proceso. Los electrolizadores de alto poder por lo general están compuestos por pilas o celdas, en las cuales electrolizadores individuales se conectan en serie y se les aplica un determinado voltaje. Generalmente los electrolizadores PEM pueden llegar a tener eficiencias de hasta un 85%.

Las celdas PEM funcionan de la siguiente manera:

- Primero se debe de tener un suministro de agua que fluya y abastezca el consumo de agua en el electrolizador PEM.

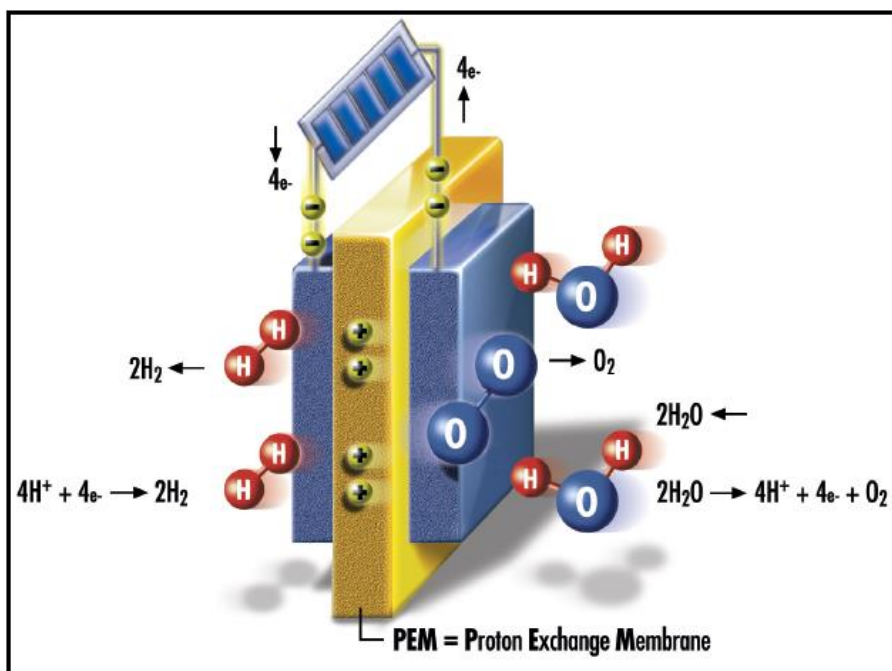
- Luego se necesita aplicar un voltaje CD a los electrodos del electrolizador PEM. Este voltaje puede ser suministrado por cualquier tipo de fuente de energía renovable.
- En el ánodo se oxida el agua, obteniendo como resultado oxígeno, protones (iones de H^+) y electrones en forma libre (e^-). En ésta parte del proceso se puede recolectar el oxígeno en forma gaseosa directamente del ánodo. Sin embargo, los protones migran a través de la membrana conductora de protones, hacia el cátodo.
- En el cátodo estos protones interactúan con electrones y se reducen a hidrógeno ($2H_2$).

A continuación se muestran las reacciones que suceden en el cátodo y en el ánodo del electrolizador.

- Reacción en el cátodo: $4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2$
- Reacción en el ánodo: $2H_2O \rightarrow 4H^+ + 4e^- + O_2$

El siguiente diagrama muestra los componentes y las reacciones que se llevan a cabo en el electrolizador PEM, en este electrolizador la fuente de voltaje es un panel solar:

FIGURA 14: Electrolizador PEM



(Fuel Cell Markets 2012; EERE 2012; H-Tec 2012; College of the Desert 2001)

3) **Termólisis del agua.** La termólisis del agua consiste en la ruptura del agua por medio del calor. La definición de termólisis nos indica que es el proceso mediante el cual un compuesto se para en dos o más compuestos, cuando éste se somete a un aumento de temperatura. Hay varias formas de llevar a cabo la termólisis del agua, siendo la termólisis directa la única forma que resulta inalcanzable, debido a las altas temperaturas que se manejan en la misma ($T > 2500$ K). Las otras formas de termólisis se llevan a cabo a temperaturas menores de 2500 K, y su única diferencia es la fuente de donde se obtiene la energía para suministrar el calor necesario para el proceso. Esta fuente de calor es externa y si ésta se obtiene de fuentes renovables, el impacto y ahorro energético resulta significativo. A continuación se muestra una tabla comparativa entre todos los métodos de obtención de hidrógeno a partir de la termólisis del agua:

CUADRO 20: Tabla comparativa entre todos los métodos de obtención de hidrógeno a partir de la termólisis del agua

Clase I ($T \leq 1.000$ K)			
Proceso		Reacción endotérmica	T(K)
Ciclos termoquímicos de temperaturas "moderadas"	Ciclos de la familia del azufre	Descomposición del ácido sulfúrico $H_2SO_4 (g) \longrightarrow SO_2 (g) + H_2O (g) + 1/2 O_2 (g)$	$T \approx 1.000$
	Ciclos del tipo UT-3	Hidrólisis del bromuro de calcio y del bromuro de hierro $CaBr_2 (s) + H_2O (g) \longrightarrow CaO (s) + 2HBr (g)$ $3FeBr_2 (s) + 4H_2O (g) \longrightarrow$ $3Fe_2O_4 (s) + 6HBr (g) + H_2 (g)$	$T \approx 900$
Clase II ($1000. k \leq T \leq 2.500$ K)			
Proceso		Reacción endotérmica	T(K)
Ciclos termoquímicos de temperaturas "elevadas"	Reducción de óxidos metálicos	Disociación del óxido metálico $M_xO_y \longrightarrow xM + y/2O_2$	$T \approx 2.500$
	Pirólisis (cracking)	Descomposición térmica de hidrocarburos $C_xH_y \longrightarrow xC (g) + y/2H_2$	$T \approx 1.000$
Descarbonización de combustibles fósiles	Reformado	Descarbonización de hidrocarburos ligeros $C_xH_y + xH_2O \longrightarrow xCO + (y/2+x)H_2$	$T \approx 1.000$
	Gasificación	Descarbonización de hidrocarburos pesados o carbón $C_xH_y + xH_2O \longrightarrow xCO + (y/2+x)H_2$	$T \approx 1.100$
Clase III ($T > 2.500$ K)			
Proceso		Reacción endotérmica	T(K)
Termólisis directa del agua		Disociación del agua $H_2O \longrightarrow H_2 + 1/2O_2$	$T \approx 2.500$

(Linares Hurtado, José Ignacio 2007)

De todos los procesos que se muestran en la tabla anterior, se puede observar que el método más prometedor y que más se adapta a los fines de este estudio es el proceso que involucra a la familia del azufre (SI). Esto se debe a que posee una eficiencia promedio de alrededor del 38%, y posee una temperatura de operación alta (1000 K) pero baja en comparación a las temperaturas que se utilizan en los

demás métodos. Sin embargo 1000 K equivalen a alrededor de 727 °C, por lo que este método resulta ser muy peligroso para uso doméstico.

4) Fotólisis del agua. La fotólisis también conocida como fotodisociación, o fotodescomposición del agua es uno de los métodos más recientes para la obtención de hidrógeno. Básicamente consiste en replicar la fotosíntesis que realizan las plantas, ya que involucra la ruptura de los enlaces químicos del agua usando energía radiante proveniente del sol. Este proceso puede ser de tipo biológico o electroquímico. El proceso biológico involucra algas o bacterias que realizan la fotólisis y el proceso electroquímico usa semiconductores especializados, que desarrollan el proceso. Actualmente este proceso todavía se encuentra en la etapa de estudio y no hay disponibilidad de éste tipo de dispositivos en el mercado. Sin embargo hay empresas que están desarrollando celdas foto electroquímicas (Photoelectrochemical, PEC) que utilizan la luz solar para dividir el agua en hidrógeno y oxígeno, estas celdas aún se encuentran en la etapa de estudio y desarrollo. (Linares Hurtado, José Ignacio 2007; Clefs CEA 2005)

5) Procesos termoquímicos. Estos procesos no utilizan de forma exclusiva calor ni electricidad. Se obtiene el hidrógeno mediante ciclos de reacciones químicas que involucran elementos inorgánicos que actúan como catalizadores de las reacciones con el agua y materias orgánicas, a estos ciclos se les llaman ciclos termoquímicos. Los ciclos termoquímicos usados para la descomposición del agua se mencionaron anteriormente en la producción de hidrógeno a partir de la termólisis. Al igual que los procesos que ya se mencionaron en la termólisis del agua, los demás ciclos involucran temperaturas muy altas que resultan peligrosas al momento de usar estos métodos de producción de hidrógeno para uso doméstico. Este proceso también involucra la obtención de hidrógeno a partir del biogás, el cual se obtiene descomponiendo materia orgánica, que se puede obtener de desechos orgánicos. Éste tipo de procesos está siendo estudiado con más detalle en otra sección de éste trabajo. (CNEA 2012)

5. Almacenamiento de hidrógeno. El almacenamiento es una de las barreras que impide el desarrollo del hidrógeno como tecnología para portar energía, ya que éste es un portador de energía y no una fuente de energía como tal. Su baja densidad hace que éste sea muy difícil de almacenar. Existe una gran variedad formas de almacenar el hidrógeno, pero ésta se debe de escoger y adaptar al uso o aplicación que se le va a dar al hidrógeno. El hidrógeno se puede almacenar como gas, líquido criogénico, o sólido en hidruros metálicos u otros. A continuación se explica con más detalle estas formas de almacenamiento. (García Conde, Antonio González 2012; Frers, Cristian 2008; EERE 2012)

a. Almacenamiento de hidrógeno como gas. Es la manera más común, práctica y económica de almacenar el hidrógeno. Consiste en almacenar el hidrógeno en su estado gaseoso como gas presurizado (hidrógeno gaseoso comprimido) en tanques o botellas de acero o de fibra de carbono. Existen varias maneras de almacenar el hidrógeno como gas presurizado, éstas dependen de la presión a la que se acumule el gas. Las presiones pueden variar desde la presión atmosférica (1 atm, 14.7 psi) hasta 850 atmósferas (12,500 psi). Los limitantes de este tipo de almacenamiento son el espacio y el peso de los tanques.

La mayoría de los tanques que se encuentran disponibles en el mercado están diseñados para resistir una presión máxima de 200 bar (3,900 psi aproximadamente). Esto quiere decir que pueden almacenar doscientas veces el volumen del hidrógeno a condiciones ambientales o atmosféricas. Este tipo de tanques generalmente suelen usarse para uso doméstico o estacionario. En la actualidad se está estudiando el uso de fibras de carbono para la elaboración de tanques, ya que es el único material que permite contener el hidrógeno a presiones altas similares a 350 bar (5,000 psi aproximadamente).

b. Almacenamiento de hidrógeno como líquido criogénico. Este método requiere que el hidrógeno esté en estado líquido y por lo tanto debe estar a temperaturas por debajo de $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura a la que el hidrógeno pasa a estado líquido), los líquidos a temperaturas extremadamente bajas como ésta son considerados líquidos criogénicos. La ventaja sobresaliente de ésta forma de almacenamiento es la elevada densidad de energía, en volumen y masa, que posee el hidrógeno en estas condiciones. Por lo que es una forma de solucionar el almacenamiento si se cuenta con limitaciones de espacio. Generalmente este tipo de almacenamiento es usado para transportar el hidrógeno. Este tipo de tanques tienen que estar debidamente aislados, para que no entre calor al mismo. La desventaja es que estos tanques almacenan el líquido por un máximo tiempo de dos días, tiempo a partir del cual se comienzan a generar pérdidas por evaporación causadas por incrementos muy pequeños en la temperatura del tanque, que también hacen que se comience a formar hidrógeno gaseoso dentro del tanque. Cuando esto pasa, se tiene que evitar que la presión del tanque suba a causa del gas presurizado, por lo que se debe de liberar el hidrógeno gaseoso dentro del tanque. Se estima que las pérdidas ocasionadas por este tipo de situación suelen ser de un 0.4% del volumen almacenado en el tanque, por día. Otra desventaja es que se requiere de mucha energía para cambiar el estado gaseoso del hidrógeno a líquido.

c. Almacenamiento de hidrógeno como sólido. Existen dos formas de almacenar el hidrógeno como sólido, éstas son: como hidruro metálico y en nanofibras de carbono. Para almacenarlo como hidruro metálico, el hidrógeno se inyecta a un tanque de aleaciones de metal y éste forma enlaces con el metal formando el hidruro metálico. Durante este proceso se libera calor y por lo tanto es considerado una reacción exotérmica, la cual es reversible si se vuelve a aplicar calor al tanque. De esta manera el hidrógeno rompe los enlaces formados con el tanque metálico y puede ser liberado. Esta forma de almacenar hidrógeno es más segura y fácil de manejar, ya que se alcanzan niveles bastante altos de densidad de energía almacenada por volumen. Sin embargo, la densidad de energía almacenada por unidad de masa es muy baja y por lo tanto estos tanques suelen ser muy pesados.

La otra forma de almacenar el hidrógeno como sólido se logra utilizando las nanofibras de carbono. Básicamente se busca inyectar el hidrógeno en estado líquido a este tipo de fibras, las cuales retienen el hidrógeno sin necesidad de estar a temperaturas criogénicas. Sin embargo este proceso aún se encuentra en desarrollo y los precios de este tipo de sistemas son extremadamente caros debido a que se usa la nano tecnología.

La siguiente tabla provee información comparativa de las eficiencias volumétricas y másicas de las diferentes tecnologías y métodos de almacenamiento de hidrógeno:

CUADRO 21: Tabla comparativa de las eficiencias volumétricas y másicas de las diferentes tecnologías y métodos de almacenamiento de hidrógeno

	Densidad energética volumétrica teórica [kwh/l]	Densidad energética volumétrica del contenedor [kWh/l]	Fración másica útil de hidrógeno [%]	Proyección de la fracción másica útil de hidrógeno [%]
H ₂ líquido (1 bar; 20 k)	2,4	1,2	6	12
H ₂ comprimido (700 bar; 300 k)	1,3	1,1	4	9
Carbón activado (100 bar; 300 k)	0,6	0,2	1	2
Carbón activado (100 bar; 77 k)	1,9	0,5	4	6
Hidruros metálicos intersticiales (AB ₂ , AB ₃)	4,2	1,8	1,5	2
Hidruros metálicos complejos	4,2	0,7	5	7
Hidruros químicos (NABH ₄)	3,7	1,4	6	9

(Linares Hurtado, José Ignacio 2007)

6. Formas de convertir hidrógeno en electricidad. Para convertir el hidrógeno en electricidad se usan las celdas de combustible. Éstas fueron inventadas hace más de 150 años atrás, cuando Sir William Robert Grove y Christian Schoenbein descubrieron que el proceso de electrólisis se podía revertir. En este proceso, hablando de la electrólisis del agua, se revierte el proceso haciendo reaccionar oxígeno con hidrógeno para formar agua y electricidad.

Una celda de combustión está conformada por dos electrodos (un cátodo y un ánodo), al igual que los electrolizadores antes mencionados, y estos están separados por un electrolito. Existen distintos tipos de celdas de combustión, las cuales se clasifican de acuerdo al tipo de electrolito que éstas posean. A continuación se tiene una tabla comparativa de las celdas de combustión más actuales.

CUADRO 22: Tabla comparativa de las diferentes celdas de combustión

Fuel Cell = FC

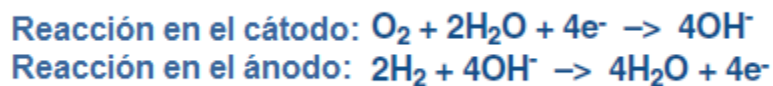
Fuel Cell	Electrolyte	Operating temperature	Electrical efficiency	Fuel Oxydant
Alkaline Fuel Cell AFC	Potassium hydroxid (KOH) solution	Room temperature to 90° C	60 - 70 %	H ₂ O ₂
Proton Exchange Membrane Fuel Cell PEMFC	Proton exchange membrane	Room temperature to 80° C	40 - 60 %	H ₂ O ₂ , Air
Direct Methanol Fuel Cell DMFC	Proton exchange membrane	Room temperature to 130° C	20 - 30 %	CH ₃ OH O ₂ , Air
Phosphoric Acid Fuel Cell PAFC	Phosphoric acid	160 - 220° C	55 %	Natural gas, bio gas, H ₂ O ₂ , Air
Molten Carbonate Fuel Cell MCFC	Molten mixture of alkali metal carbonates	620 - 660° C	65 %	Natural gas, bio gas, coal gas, H ₂ O ₂ , Air
Solid Oxide Fuel Cell SOFC	Oxid ion conducting ceramic	800 - 1000° C	60 - 65 %	Natural gas, bio gas, coal gas, H ₂ O ₂ , Air

(H-Tec 2012)

A continuación se describirán con más detalle las celdas de combustión más relevantes, en cuanto a eficiencia y temperaturas de operación.

a. Celdas de combustión alcalinas. El electrolito de estas celdas de combustión es potasio alcalino (KOH) y por esto se les conoce como AFCs (Alkaline Fuel Cells). Pueden operar desde una temperatura ambiente hasta 90 °C, estas temperaturas se pueden elevar si se eleva la concentración del electrolito. Poseen eficiencias (60-70%), pero tienen el problema de ser incompatibles con el dióxido de carbono (CO₂). Esto es un problema ya que el aire del ambiente posee concentraciones muy bajas de CO₂, pero que resultan ser suficientes para ocasionar problemas con este tipo de celdas. Cuando el CO₂ reacciona con el electrolito de la celda se forma un tipo de carbono insoluble que puede llegar a arruinar la celda. Es por esto que estas celdas de combustión solo pueden operar con combustibles de alta pureza, como el hidrógeno puro, y con oxígeno puro sin ningún tipo de contaminante. La reacción en estas celdas de combustión es la siguiente:

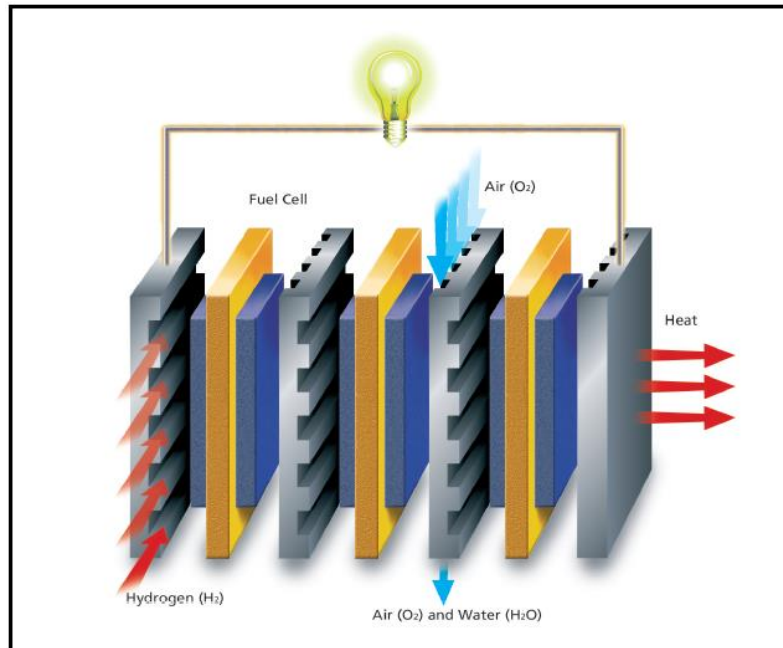
CUADRO 23: Reacciones en una celda de combustión alcalina



(EERE 2012; Acohidrogeno 2012)

b. Celdas de membranas de intercambio de protones. Estas celdas convierten la energía química directamente en energía eléctrica. Operan a bajas temperaturas, de manera eficiente, silenciosa y sin liberar ningún tipo de contaminante, ya que su único subproducto (aparte de electricidad) es agua. Aparte de esto poseen una característica que hace que sobresalgan de todas las demás celdas de combustión, ésta es que se pueden apilar en la cantidad que se necesite, para formar lo que se conoce como una pila de celdas de combustión. Se conectan en serie varias celdas PEM para alcanzar voltajes más grandes y también se obtiene una gran diferencia en cuanto al poder. Se pueden alcanzar desde 1kW hasta varios megavatios de poder si se apilan varias PEM. Debido a esta característica las celdas PEM poseen un gran futuro y pueden aplicarse en casi cualquier campo que se desee, desde el uso doméstico y para vehículos hasta el uso industrial y espacial.

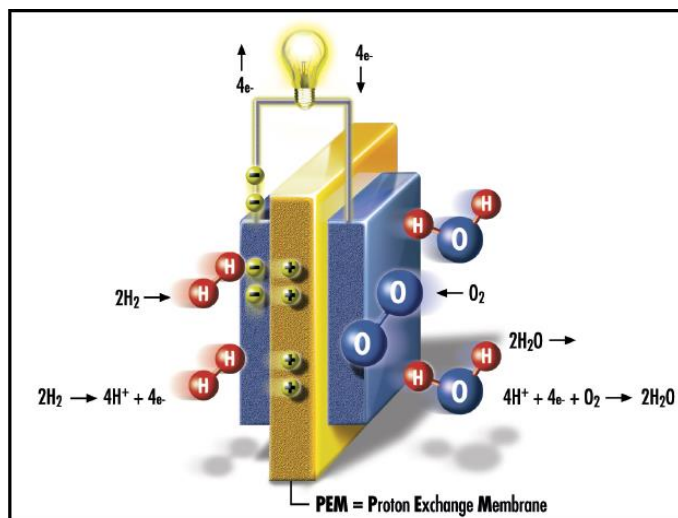
FIGURA 15: Ejemplo de una pila de celdas de combustión PEM



(EERE 2012; H-Tec 2012)

El funcionamiento de las celdas PEM es el inverso de los electrolizadores PEM que se estudiaron anteriormente. Poseen dos electrodos, hechos de platino (generalmente), separados por una membrana conductora de protones. El hidrógeno gaseoso se suministra desde la izquierda (figura #12) al electrodo del lado izquierdo y el oxígeno (proveniente del aire) se suministra desde la derecha al otro electrodo. Entonces el ánodo actúa como catalizador y disocia el hidrógeno en protones (iones H^+) y electrones, positivos y negativos (amarillos en la figura). Los protones pasan a través de la membrana de intercambio protónico para llegar al cátodo (derecha) y los electrones (cargas negativas) también llegan al cátodo pero a través del circuito externo que se muestra en la figura. Este paso de los electrones por el circuito externo genera electricidad, que se muestra con la bombilla encendida. Luego ya en el cátodo los protones y electrones reaccionan con oxígeno para formar agua como subproducto del procedimiento.

FIGURA 16: Celda de combustión PEM



CUADRO 24: Reacciones que suceden en las celdas PEM



(EERE 2012; H-Tec 2012)

7. Hidrógeno en Guatemala. En Guatemala la empresa “Productos del Aire, S.A.”, es la única que produce hidrógeno nivel industrial. Su central de distribución está localizada en la 41 calle 6-27 zona 8. Son la primera fábrica en Centro América que se dedica producir y vender gases médicos e industriales. También venden una gran variedad de equipos, herramientas y maquinaria de uso industrial. Ofrecen su servicio profesional en las áreas de soldadura, seguridad industrial, equipo médico, equipo automotriz, fijaciones, herramienta y maquinaria. Cuentan con operaciones en Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Belice. (Productos del aire 2012)

VI. ESTUDIO DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

A. Sistema de generación de biogás

Para poder realizar un análisis financiero más detallado se debe de encontrar el tipo de biodigestor que mejor se adapte a las capacidades económicas y sociales del grupo al que está dirigido este trabajo que son las granjas agropecuarias de Guatemala y que sea compatible con el clima del país.

Luego de analizar las características de los diferentes digestores se llegó a la conclusión de utilizar el digestor de bolsa para realizar los cálculos. Este digestor tiene ciertas características que lo hacen la mejor opción para las granjas agropecuarias de Guatemala.

La primera característica que se tomó en cuenta es el costo de inversión, el costo de un biodigestor de bolsa es hasta un 50% menor al del biodigestor Deenbandhu, el siguiente con menor costo. Esto se debe a que las cámaras de digestión generalmente están hechas de cemento lo cual eleva el costo y el costo de mantenimiento es mayor. Una granja agropecuaria con una alta capacidad adquisitiva puede preferir una planta Deenbandhu, por la seguridad y solidez que representa, sin embargo en la mayor parte de las granjas agropecuarias en Guatemala que son a pequeña o mediana escala no existen los recursos para implementar un biodigestor de este tipo.

Para comparar los flujos de efectivo de estos biodigestores se debe de encontrar el mínimo común múltiplo de la vida útil de ambos. La vida útil del modelo de bolsa polimérica es de 10 años mientras el de Deenbandhu es de 15 por lo que el mínimo común múltiplo es de 30 años. Se observó que al largo plazo es mejor la utilización del sistema de bolsa polimérica ya que los valores presentes netos y las tasas internas de retorno observadas son mayores. Los flujos de efectivo para ambos biodigestores se observan en el ANEXO 3 y el ANEXO 4.

La siguiente característica es la fácil instalación y operación, la instalación de un biodigestor de bolsa puede tardar hasta una semana menos y puede ser realizada por un agricultor con los conocimientos básicos de albañilería. Además la operación y mantenimiento pueden ser realizadas por una persona tomando aproximadamente 35 minutos al día.

La capacidad de desmontar la bolsa y movilizarla es otro factor que brinda muchas ventajas, especialmente en un país, donde la política y la seguridad son cuestionables. Así un pequeño agricultor que es desalojado de su terreno puede llevarse su biodigestor y colocarlo en su nueva granja. Con un

biodigestor fijo toda la inversión se perdería, mientras que con este modelo se puede llegar a rescatar hasta el 80% de la inversión.

Todos los análisis financieros y económicos realizados en el trabajo fueron hechos en base al digestor de bolsa que ofrece la empresa MEXICHEM S.A.

B. Sistemas de generación de hidrógeno por fermentación oscura

1. Descripción del proceso

a. Traslado y pretratamiento de desechos orgánicos. Los desechos orgánicos que se utilizarán para el proceso de producción de hidrógeno a través de fermentación oscura son con aguas residuales de desechos orgánicos provenientes de una planta industrial que produce productos alimenticios. Estos desechos son transportados por camiones grandes de agua que depositan las aguas residuales en cuatro contenedores de 8,000 galones una vez al año para poder tener una producción constante de hidrógeno en el sistema.

Estos desechos se transportan de una manera constante por medio de una bomba de aguas sucias al reactor continuo de tanque agitado donde toman lugar las reacciones químicas que separaran el hidrógeno de los desechos orgánicos (fermentación oscura). Los desechos tienen que pasar un proceso de pretratamiento antes de ser sometidos al proceso de fermentación oscura. Estos procesos incluyen: tiempos de temperaturas de ebullición por cierto periodo de tiempo y tratamientos con ácidos y bases a pHs extremos para hidrolizar el almidón y la celulosa y dejar el medio con carbohidratos libres para la fermentación. Esto nos sirve para eliminar componentes indeseados, así como la desnaturalización de proteínas y sustancias orgánicas complejas, dilución de carga orgánica, regulación de pH y adición de ciertos componentes necesarios para llevar a cabo el proceso de fermentación.

b. Fermentación oscura. Después de pasar por la fase de pretratamiento los desechos se introducen a un reactor continuo de tanque agitado (CSTR), donde se tiene que verter de una forma uniforme las aguas residuales para mantener una producción de hidrógeno constante. Mientras toman lugar las reacciones químicas dentro del reactor se deben monitorear distintos parámetros y condiciones de operación como: el pH, la retención hidráulica, presión parcial de hidrógeno y CO₂, subproductos, temperatura, concentración inicial de sustrato, edad y volumen de inóculo. Estos factores deben ser controlados ya que estos pueden afectar la eficiencia de la producción, el contenido de biogás, el tipo de ácidos producidos y la tasa específica de producción de hidrógeno.

Al paso de una hora se empieza a producir pequeñas cantidades de hidrógeno dentro del reactor. El hidrógeno es transferido por medio de tuberías de acero inoxidable a un purificador para eliminar cualquier gas o sustancias no deseadas. El reactor continuo de tanque agitado libera al desagüe ácido acético y butírico donde son enviados a la planta de tratamiento de aguas residuales de la municipalidad de Guatemala.

c. Purificador de gases. El purificador se encarga de eliminar impurezas como: oxígeno, agua, carbono, dióxido de carbono, nitratos, Tetrahidrocannabinol y sustancias inertes. Esto provee a la celda hidrógeno 99.99% puro para poder producir electricidad eficientemente.

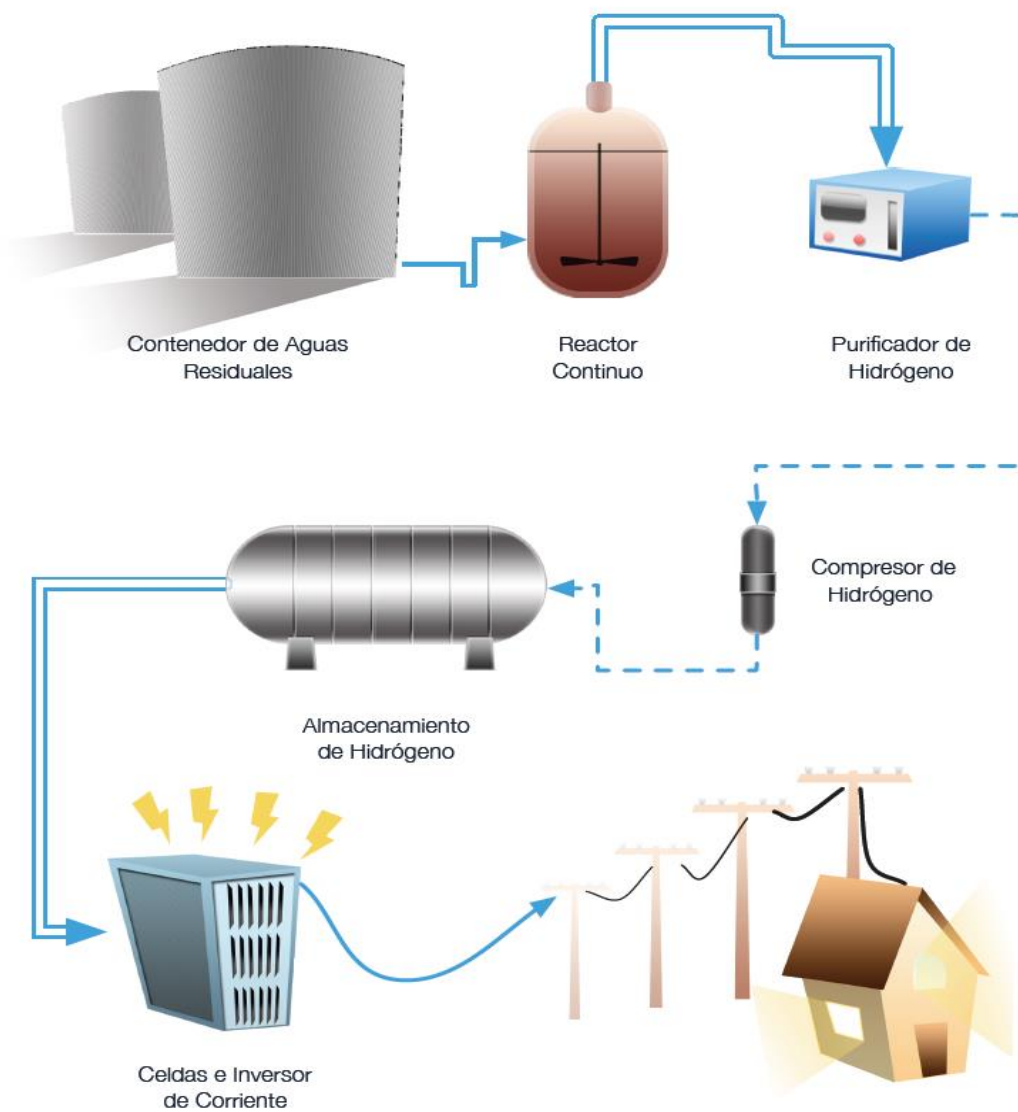
d. Compresor y contenedores de hidrógeno. El hidrógeno al salir del purificador de gases pasa por un compresor de hidrógeno que comprime el gas a una presión de 80 psia para ser almacenado en un tanque de hidrógeno de 26,000 pies cúbicos donde es liberado a las celdas de hidrógeno al ritmo de consumo de energía de la casa a través de un regulador de hidrógeno en línea. Esto es porque durante el transcurso del día no se estará usando la capacidad total de energía que las celdas de hidrógeno pueden proveer. Si no solo se usa una pequeña cantidad de hidrógeno para que el resto no se desperdicie.

e. Celdas de hidrógeno e inversores de corriente. En esta fase del proceso, el hidrógeno pasa a través de una celda produciendo en total una cantidad de 1kWh. La corriente directa que sale de la celda es convertida a una corriente alterna a través de un inversor de corriente para que puedan funcionar equipos eléctricos caseros. Esta cantidad de potencia es suficiente para darle energía limpia a un hogar de tamaño mediano. Estas celdas se utilizan dependiendo de la demanda de energía de la casa durante el día y solo se usan a su máxima capacidad durante la noche o un evento grande donde hay un gran consumo de energía.

2. Diagrama de proceso

FIGURA 17: Diagrama de proceso de producción de hidrógeno y energía eléctrica.

Proceso de Producción de Hidrógeno



3. Maquinaria y equipo

a. **Contenedor de aguas residuales.** Los contenedores de aguas residuales para este sistema van a contener un volumen de 8,000 galones cada uno para poder suplir la demanda de aguas residuales al reactor continuo para la producción de hidrógeno en el sistema por todo un año. Al finalizar el año este contenedor debe que ser llenado otra vez con aguas residuales de industrias agrícolas para poder reabastecer el sistema con desechos orgánicos.

FIGURA 18: Contenedor de aguas residuales



b. **Bomba de agua.** La bomba de agua se utilizará para bombear el agua residual al reactor químico continuo donde va tomar lugar la fermentación oscura. Esta bomba es de tipo sumergible, una de sus características especiales son que pueden cargar sólidos de tamaño pequeño logrando mantener un bombeo continuo. El motor de la bomba tiene una potencia de 0.5 caballos de fuerza, suficiente para abastecer la demanda de aguas residuales que necesita el reactor químico que son 4 litros por hora.

CUADRO 25: Especificaciones de bomba de agua sucia.

Tipo de bomba	Sumergible
Flujo óptimo	120 LMP
Potencia	0.50hp
Motor	eléctrico
RPM del motor	3450 RPM
Paso de sólidos	0.50 pulgadas
Altura óptima	4 metros
Longitud del cable	6 metros

FIGURA 19: Bomba sumergible de agua con sólidos



Reactor continuo de tanque agitado. El proceso de fermentación oscura toma lugar dentro del reactor químico. El reactor que se va utilizar en este proceso es un reactor continuo de tanque agitado de 600 galones con un agitador con una potencia de 7.5 caballos de fuerza.

FIGURA 20: Reactor continuo de tanque agitado



FIGURA 21: Agitador dentro de reactor continuo



CUADRO 26: Especificaciones de reactor continuo de tanque agitado

Galones	600 gal
Diámetro	46 pulgadas
Largo	70 pulgadas
Potencia de agitador	7.5 HP
RPM de motor 900 RPM	900 RPM
Material de cascara	Hierro 316 SS

c. **Purificador de hidrógeno.** El purificador que se utilizará para este sistema está compuesto por una membrana de paladio que o hace un excelente trabajo de filtrar el hidrógeno de impurezas y tiene una vida útil de más de 40 años. El purificador tiene una capacidad máxima de purificar 300 litros de hidrógeno por hora y provee a las celdas de combustión (celdas de hidrógeno) hidrógeno 99.99% puro

FIGURA 22: Purificador de hidrógeno con membrana de paladio.



CUADRO 27: Especificaciones de purificador de hidrógeno

Modelo	HP-10-VCR
Litros/hora	300
Ancho (mm)	279
Altura (mm)	210
Profundidad (mm)	283
110V (amperios)	3
210V (amperios)	1.5

d. Arrestador de flama en línea para hidrógeno. Este dispositivo de seguridad ayuda a prevenir una propagación de una flama en todo el sistema si llega ocurrir una chispa dentro del sistema. Esto evita que se propague la flama y que ocurra un incendio o una explosión. Para este sistema se instalaran dos arrestadores de flama en línea de acero inoxidable en cada lado de la tubería del tanque de almacenamiento de hidrógeno para prevenir un accidente.

FIGURA 23: Purificador de hidrógeno con membrana de paladio.



(<http://franko1.com/Images/productos/2000.png>)

e. Compresor de hidrógeno. Se utilizará un compresor de diafragma y pistón especial para comprimir hidrógeno dentro del tanque de almacenamiento a una presión de 80 psi. Este compresor esta lubricado sin aceite para no contaminar el gas hidrógeno que tiene que permanecer 99% puro para poder ingresar a las celdas de hidrógeno y producir la cantidad de energía deseada.

FIGURA 24: Compresor de diafragma y pistón para comprimir hidrógeno



(http://www.nimicoco.com/upload/20111008/Diaphargm_compressor_Hydrogen.jpg)

CUADRO 28: Especificaciones del compresor de hidrógeno

Tipo	Diafragma y pistón
Capacidad	600Nm ³ /hr
Presión max.	80psi
Output del motor	149W (12V-3,600RPM)
Flujo de aire	26 lt/min
Peso	3.5kg

f. Válvulas de cheque. Las válvulas de cheque se usaran para impedir la inversión de flujo de hidrógeno en el sistema. Cuando se abren y están bajo presión de flujo, el mecanismo de retención se moverá libremente para impedir la caída de presión. Se colocarán uno en cada lado del tanque de almacenamiento de hidrógeno para mantener un flujo constante dentro del sistema.

FIGURA 25: Válvulas de cheque de acero inoxidable.



(<http://valvula.es/compuerta2.jpg>)

g. Regulador para hidrógeno en línea. Se instalará un regulador de presión en la salida del tanque de almacenamiento de hidrógeno para regular la cantidad de hidrógeno que entra a la celda combustible para producir energía para el hogar mediano. Este regulador ayuda a prevenir desperdicio de hidrógeno en el sistema.

FIGURA 26: Regulador para hidrógeno en línea.



h. Tanque de almacenamiento de hidrógeno. El tanque de almacenamiento de hidrógeno que se utilizara para este sistema es de 26,000 pies cúbicos, para poder abastecer la cantidad de hidrógeno que necesitara la celda de hidrógeno, que es de 014L/min equivalente a 3.18 gal/min. Este tanque se debe construir en una fábrica especialista de tanques de almacenamiento en Guatemala.

FIGURA 27: Tanque de almacenamiento de hidrógeno.



i. Monitor de seguridad. El monitor de seguridad que será utilizado en el sistema para detectar fugas de hidrógeno en el sistema es un monitor muy sensible a la presencia de hidrógeno que alerta si existe un peligro en el área. Esto ayudará a detectar rápidamente fugas en el sistema para que la producción siempre sea constante y para que no exista ninguna pérdida de hidrógeno.

FIGURA 28: Monitor de seguridad H2scan Corp.



CUADRO 29: Especificaciones del monitor de seguridad

Modelo	HY-ALERT 600 Fixed Area Monitor
Tiempo de respuesta	90-60 segundos
Voltaje	8-13 VDC
Amperaje	0.5 A
Longitud	7.2 pulgadas
Ancho	4.4 pulgadas
Temperatura operacional	-20 a 40 grados Celsius

j. Celda de hidrógeno. La celda de hidrógeno que se utilizará para este sistema es capaz de producir 1kW. Esta es una celda PEMFC (membrana de intercambio protónico) hecha de paladio y platino, uno de los materiales más escasos del mundo. Para abastecer la demanda de energía para una casa de tamaño mediano, se utilizará una celda de este tipo.

FIGURA 29: Celdas de hidrógeno PEMFC; H-1000 PEM FC system (1kW)



CUADRO 30: Especificaciones de celdas de hidrógeno PEMFC; H-1000 PEM FC system (1kW)

Tipo de celda	PEMFC
Numero de celdas	72
Poder (Watts)	1,000
Tasa de rendimiento	43V@723.5A
Rango de salida de voltaje	114voltios
Peso (kg)	4.2
Tamaño (mm)	324x220x122 mm
Reactante	Hidrógeno
Consumo de hidrógeno (L/min)	14
Presión de hidrógeno (kg)	0.45

k. Inversor de corriente. El inversor de corriente se utilizará para convertir la corriente continua (directa) de entrada que sale de la celda de hidrógeno a una corriente alterna de salida, obteniendo la magnitud y frecuencia que se desea para los dispositivos eléctricos de un hogar. Se adquirirá un inversor de 1000W con una capacidad de invertir 12 V.

FIGURA 30: Inversor de corriente AIMS.

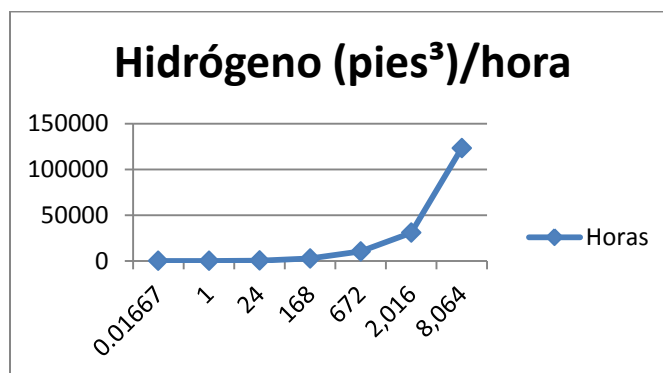


4. Producción del sistema. El sistema es capaz de generar una potencia de 1 kW. La producción de energía eléctrica en el sistema está conectada a un contador bifásico para distribuir la producción de energía a la red de energía eléctrica de la Empresa de Eléctrica de Guatemala (EEGSA). Este contador lleva un registro de la cantidad de energía que produce el sistema y representa cuantos kW tiene el hogar mediano a su favor para consumir. Cada vez que se consume energía en la casa el contador resta la cantidad de energía que tiene a su favor el propietario del sistema de producción de energía a través de hidrógeno y le descuenta EEGSA mensualmente la cuota de electricidad que consumieron. Sólo cobra el cargo fijo y la tasa municipal.

CUADRO 31: Producción a través del tiempo de hidrógeno y energía eléctrica posible.

Tiempo	Producción (kWh)	Hidrógeno (litros)	Hidrógeno (pies ³)
Minuto	0.01667	7.2491	0.2547
Hora	1	434.9438	15.2839
Día	24	10,438.6516	366.8142
Semana	168	73,070.5611	2,567.6995
Mes	672	292,282.2442	10,270.7981
Trimestre	2,016	876,846.7327	30,812.3942
Año	8,064	3,507,386.931	123,249.5767

GRÁFICO 4: Producción de hidrógeno por hora.

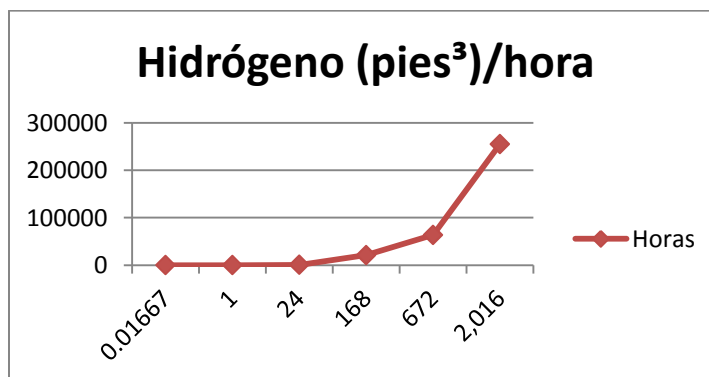


El sistema está diseñado para producir una cantidad de 24 kWh diarios. Para que esto llegue a suceder, el sistema tiene que producir hidrógeno y almacenarlo por un periodo de un mes aproximadamente para que la producción de energía pueda comenzar hacer auto sostenible. Esto se debe al consumo de hidrógeno que tiene la celda combustible de 14 litros/min ya que para producir 1kWh de energía se necesita tener almacenado por lo menos unos 10,000 pies cúbicos de hidrógeno.

CUADRO 32: Consumo de celda de hidrógeno

Tiempo	Hidrógeno (litros)	Hidrógeno (pies ³)
Minuto	14	0.4920
Hora	840	29.5176
Días	20,160	708.4224
Mes	604,800	21,252.672
Trimestre	1,814,400	63,758.016
Año	7,257,600	255,032.064

GRÁFICO 5: Consumo de celdas de hidrógeno.



5. Costo del sistema

<i>Maquinaria y equipo</i>	<i>Dólares</i>	<i>Quetzales</i>	<i>Descripción</i>
4 Contenedores de aguas residuales.	\$20,000.00	Q79,800.00	Tanques de almacenamiento de aguas residuales.
Bomba sumergible de sólidos.	\$296.21	Q2,363.76	Bomba que trasmite aguas residuales al reactor continuo.
Reactor continuo de tanque agitado	\$20,000.00	Q159,600.00	Separa el hidrógeno de las aguas residuales por fermentación oscura.
Purificador de hidrógeno.	\$2,839.99	Q22,663.12	Limpia el hidrógeno de sustancias impuras.
Contenedor de hidrógeno (26,000ft ³)	\$13,743.45	Q109,672.73	Tanque de almacenamiento de hidrógeno.
Compresor de diafragma (80psia)	\$250.00	Q1,995.00	Comprime el hidrógeno en el contenedor de hidrógeno.
Monitor de Seguridad	\$1,750.00	Q13,965.00	Monitorea si existen fugas de hidrógeno en el sistema.
Celda de hidrógeno (1kWh)	\$4,500.00	Q35,910.00	Proveen la energía necesaria para una casa mediana.
Tuberías de acero inoxidable (11mts)	\$1,113.12	Q8,882.70	Tubería especial para maniobrar el hidrógeno dentro del sistema.
3 Válvulas de acero inoxidable.	\$93.98	Q749.96	Regulan el flujo de hidrógeno dentro del sistema.
Regulador en línea para hidrógeno.	\$511.22	Q4,079.54	Regula el flujo de hidrógeno
2 Válvulas de Cheque	\$75.19	Q600.02	Regula el flujo de hidrógeno
(2) Arrestadores de flama en línea para hidrógeno.	\$5,320.54	Q42,457.91	Previene que ocurra un incendio o una explosión dentro del sistema si ocurre una chispa.
Transporte, instalación y prueba de funcionamiento.	\$2,000.00	Q3,007.02	Prueba el funcionamiento de todo el sistema.
Fletes (contenedor)	\$2,000.00	Q15,960.00	Precio promedio de cuánto vale un contenedor traído a Guatemala
Pedido de aguas residuales.	\$208.02	Q1,660.00	Anualmente se hace un pedido de aguas residuales para reabastecer los tanques de aguas residuales.
Inversor Electricidad (1kW)	\$140.66	Q1,122.5	Convierte corriente directa a corriente alterna para consumir en un hogar.
Costo Total	\$74,842.38	Q597,242.23	

C. Sistema de energía de hidrógeno solar

Luego de realizar los estudios teóricos de todos los métodos de obtener energía eléctrica a partir de hidrógeno verde, que no sean por medio de fermentación oscura, se llegó a la siguiente conclusión sobre el método que se va a seleccionar para realizar los estudios de la siguiente fase de éste trabajo:

El método más adecuado para los fines de este trabajo, es el método de obtención de hidrógeno a partir de energía solar. El sistema que genera energía eléctrica a partir de hidrógeno verde obtenido de la energía renovable proveniente del sol se le conoce como: SISTEMA DE ENERGÍA DE HIDRÓGENO-SOLAR.

Se seleccionó este sistema debido a que es un sistema que ya lleva varios años en el mercado y por lo tanto los componentes del mismo se pueden adquirir sin problema alguno. También porque es un sistema que tiene cero repercusiones en el medio ambiente. La descripción y los requerimientos técnicos de este sistema se detallan a continuación.

1. Descripción general del sistema. Hoy en día factores como el crecimiento poblacional, la escasez de recursos, la contaminación y la creciente demanda de energía eléctrica, han hecho que el ser humano comience a estudiar alternativas renovables para cubrir la demanda energética. Estas alternativas involucran la obtención de energía a partir de fuentes de energías renovables e inagotables como la energía solar, la eólica y la hidroeléctrica.

La energía solar, en los últimos años, ha sido una de las energías con más auge para uso doméstico e industrial. Sin embargo, ésta tiene sus limitaciones. Esto se debe a que los paneles solares proveen energía, hasta con excedentes, durante el día (cuando hay sol). Pero, ¿qué pasaría si se necesita energía en ausencia del sol? Muchas personas en el mundo utilizan baterías para almacenar la energía solar y piensan que están utilizando energía verde sin causar ningún tipo de contaminación. Lo que ellos no saben es que las baterías tienen un tiempo de vida (1-2 años) y cuando éste se acaba, se tienen que desechar. La contaminación causada por el desecho de las baterías, generalmente de plomo-ácido, repercute grandemente al medio ambiente. Otro factor negativo de estas baterías es que poseen un precio elevado en el mercado, el cual se tiene que incurrir cada vez que la batería llega al fin de su tiempo de vida.

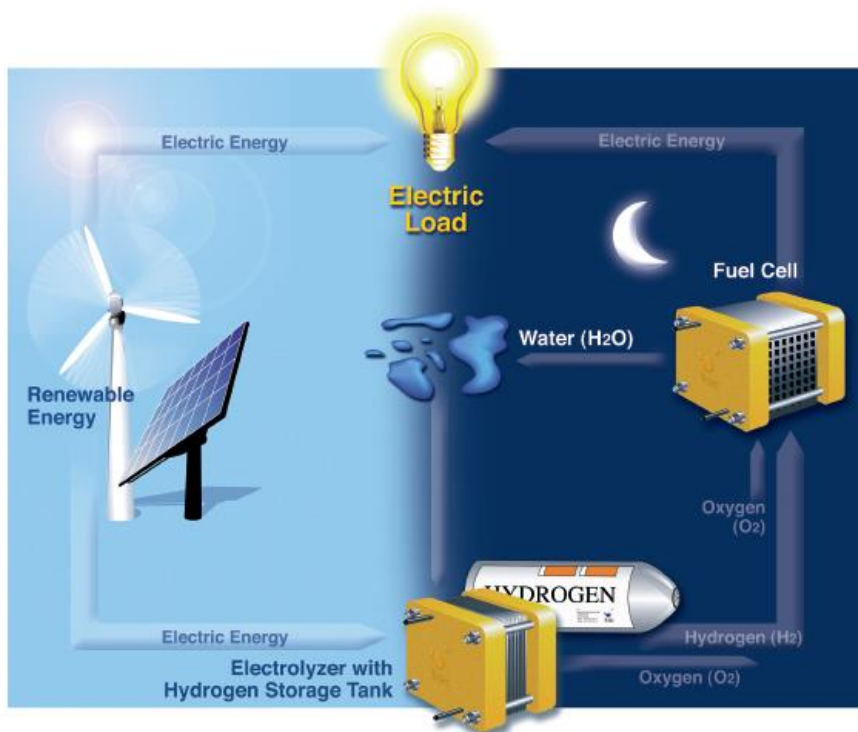
Cuando se tiene el problema de que la energía solar no se dispone de acuerdo a la demanda (noche e invierno), el hidrógeno es una de las alternativas para almacenar y transportar la energía solar a donde se necesite y poder usarla bajo demanda (en el instante que ésta se necesite). Esto se debe a que el hidrógeno es un portador de energía no una fuente de energía. Para que esto suceda se debe de obtener energía solar y ésta se debe usar para la generación de hidrógeno, a este ciclo se le conoce como el ciclo de energía de

hidrógeno-solar. Para aprovechar de manera óptima el ciclo, éste debe de empezar cuando la energía solar suministrada por paneles fotovoltaicos excede la demanda, por lo general esto se da durante el día. Este excedente de energía solar se usa para la producción de hidrógeno. La producción de hidrógeno se lleva a cabo mediante el uso de electrolizadores, que utilizan electricidad para separar el agua en oxígeno e hidrógeno gaseoso. El agua que utiliza el electrolizador tiene que pasar por un proceso de purificación y deionización, ya que si se utiliza agua potable que proviene de los grifos directamente, se puede llegar a contaminar el dispositivo, ocasionando la pérdida del electrolizador. Luego el agua ya tratada pasa a un tanque de almacenamiento que suministra el agua purificada al electrolizador y se da la producción del gas. El hidrógeno y el oxígeno obtenidos se pueden almacenar para el uso que se necesite. Por lo general, en el uso doméstico, el oxígeno obtenido se libera al medio ambiente. El hidrógeno que se obtiene del electrolizador sale del mismo como en estado gaseoso y por lo tanto se tiene que almacenar de la manera que sea más conveniente. En este sistema el hidrógeno se va a almacenar en tanques de baja presión para evitar el uso de compresores, la fragilización, y también ahorrar más energía.

La siguiente parte de éste ciclo se presenta cuando surge la demanda electricidad. En esta fase el hidrógeno almacenado se transforma en energía utilizando celdas de combustión de hidrógeno PEM, las cuales tienen como producto energía eléctrica, agua y calor. De esta manera se puede obtener energía en el momento que ésta se necesite. Cabe mencionar que el agua generada en éste proceso (agua desionizada) puede ser reutilizada en el ciclo, enviándola al tanque de agua desionizada que antecede a el generador de hidrógeno.

El siguiente diagrama ilustra el sistema y el ciclo de energía de hidrógeno solar, que se lleva a cabo en éste durante el día y la noche o cuando se carece de radiación solar, como en los días lluviosos. En la parte clara (lado izquierdo) se representa la operación del sistema durante el día; y en la parte oscura (lado derecho), se representa la operación del mismo cuando se carece de energía solar.

FIGURA 31: Sistema de hidrógeno solar



(EERE 2012; H-Tec 2012; Bullis, Kevin 2008)

2. Requerimientos técnicos

CUADRO 33: Componentes del sistema de hidrógeno solar

Sistema de hidrógeno-solar
Componente #1 – Paneles solares fotovoltaicos con microinversores de corriente
Componente #2 – Filtro/desionizador de agua
Componente #3 – Tanques de agua desionizada/purificada
Componente #4 – Electrolizadores PEM
Componente #5 – Tanques de hidrógeno
Componente #6 – Celda de combustión de hidrógeno PEM
Componente #7 – Inversor de corriente (CC-CA)
Componente #8 – Sensor de fugas de hidrógeno
Componente #9 – Tuberías, válvulas, reguladores y arrestadores

3. Determinación de las capacidades de cada componente del sistema de hidrógeno solar. Para desarrollar el estudio de los requerimientos técnicos del sistema mencionado anteriormente, se calcularán las capacidades necesitadas de cada componente para suplir la demanda energética del Sistema de Energía de Hidrógeno Solar.

Las capacidades necesarias de producción y consumo energético de cada componente utilizado en el sistema se calcularon con base en lo siguiente: Se tiene que generar una cantidad de hidrógeno lo suficientemente necesaria, para suplir la demanda energética durante los días lluviosos o invierno. Primero se indicó que la casa estudiada posee un consumo de 1200 kWh por trimestre, por lo que se necesitan 12 paneles para suplir esta demanda energética y aún así generar un excedente de 96 kWh por trimestre. Luego se determinó que en promedio hay 125 días de lluvia al año, para determinar cuántos días de energía se necesitan abastecer por energía proveniente de hidrógeno. Es importante mencionar que la cantidad de energía eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos se reduce en un 40% en estos días, por lo que el sistema de los 12 paneles genera 8.64 kWh de los 13.33 kWh necesarios. La diferencia (4.69 kWh) es la cantidad de kWh que se necesita generar, a base de hidrógeno, para cubrir la demanda diaria promedio de la casa. Luego se multiplicó el promedio de días lluviosos por la diferencia anterior (4.69 kWh * 125 días lluviosos al año) para determinar el total de energía necesaria proveniente de hidrógeno al año, 586.67 kWh.

Se llegó a la cantidad de hidrógeno demandada por el sistema para cubrir la generación de 586.67 kWh al año, en los días lluviosos. Para empezar se seleccionó una celda de hidrógeno PEM que es capaz de generar 0.92 kW, con un insumo de hidrógeno de 840 litros por hora. Por lo tanto se pueden calcular las horas de trabajo necesarias de la celda de hidrógeno para cubrir la demanda energética antes mencionada. Esto se hace dividiendo la demanda energética anual en días lluviosos, dentro de la capacidad de generación de energía de la celda de hidrógeno PEM ($586.67 \text{ kWh} / 0.92 \text{ kW}$), que da como resultado 640.82 horas de funcionamiento de la celda para cubrir la demanda. Con este dato se calcula la cantidad de litros de hidrógeno demandados por el sistema para cumplir con la demanda energética. Se multiplican las horas de funcionamiento calculadas anteriormente, por la tasa de consumo de litros de hidrógeno en horas de la celda de hidrógeno PEM, dando como resultado una cantidad de 538,285.09 litros de hidrógeno necesarios al año. Esta cantidad de hidrógeno tiene que ser generada con un electrolizador PEM que posea una tasa de producción de hidrógeno capaz de generar esta cantidad de hidrógeno en menos de 240 días (días sin lluvia), ya que es en estos días que se dará la producción de hidrógeno utilizando energía solar. El electrolizador PEM al que se tiene acceso en el mercado y que más se adapta al sistema posee una tasa de producción de 120 litros de hidrógeno por hora. Con estos datos entonces se calcula las horas de trabajo que el electrolizador tiene que desarrollar para cumplir la producción de hidrógeno. Esto se realiza dividiendo la cantidad total de litros de hidrógeno que se necesitan anualmente, dentro de la tasa de producción del dispositivo ($538,285.09 \text{ L de H}_2 / 120 \text{ L por hora}$), obteniendo 4485.71 horas anualmente.

Un año cuenta con 240 días no lluviosos, de los cuales solo 5 horas son efectivas para producir energía eléctrica con los paneles fotovoltaicos, por lo tanto la cantidad de horas posibles para generar hidrógeno utilizando energía solar anualmente es de 1200 horas (240 días no lluviosos * 5 horas efectivas). La cantidad de horas que debe de funcionar el electrolizador PEM anuales sobrepasan las 1200 horas antes calculadas. Debido a esto se necesita más de un electrolizador para cumplir con la producción de hidrógeno. La cantidad de electrolizadores necesarios se obtiene dividiendo la cantidad de horas necesarias para producir hidrógeno anualmente, dentro de la cantidad de horas efectivas de trabajo en el año (4485.71hrs / 1200 hrs), indicando que se necesitan 4 electrolizadores con las especificaciones antes mencionadas para cubrir la demanda de hidrógeno anual.

Ahora lo único que falta es calcular la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios para cubrir la demanda energética, requerida por los electrolizadores, para generar hidrógeno en las horas efectivas anuales antes mencionadas. Esto se calcula multiplicando la cantidad de electrolizadores necesarios, por el consumo de un electrolizador y las horas efectivas al día, para obtener el consumo diario de los cuatro electrolizadores. Este consumo se divide dentro de la generación diaria de un panel FV, para obtener la cantidad de paneles FV necesarios. El consumo diario de los 4 electrolizadores es de 18 kWh, al dividir esto dentro de los 1.2 kWh generados por los paneles diariamente se determina que se necesitan 15 paneles FV para abastecer la demanda energética de los 4 electrolizadores por año.

Los componentes deben de cumplir con las capacidades mencionadas anteriormente, ya que de lo contrario no se dará la producción necesaria de hidrógeno para suplir la demanda energética de la casa y el sistema. Las características de los componentes que se van a utilizar para la implementación del sistema de hidrógeno solar se detallan a continuación.

4. Componentes del sistema de hidrógeno solar

Componente #1 – Paneles solares fotovoltaicos con inversor de corriente

Los paneles solares fotovoltaicos que se cotizaron para desarrollar este sistema son los de la empresa GREEN, localizada en la Ciudad de Guatemala en la 11 calle 3-16 Zona 14. Estos poseen un sistema de generación “atado a la red”, el cual permite que la energía eléctrica generada por el cliente autoprodutor esté conectada a la red de distribución de energía eléctrica de la Ciudad de Guatemala supervisada por EEGSA (Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.). La conexión a la red se obtiene utilizando un contador bidireccional, el cual contabiliza la energía consumida y generada por el cliente, creando un saldo positivo o negativo de energía. Si el cliente autoprodutor genera más energía de la que consume, ésta se almacena en la red como consumo negativo y posee con una liquidación (en caso de no ser utilizada) de un trimestre, desde el mes en que se finalizó con el consumo negativo. Es importante que la corriente de energía que se

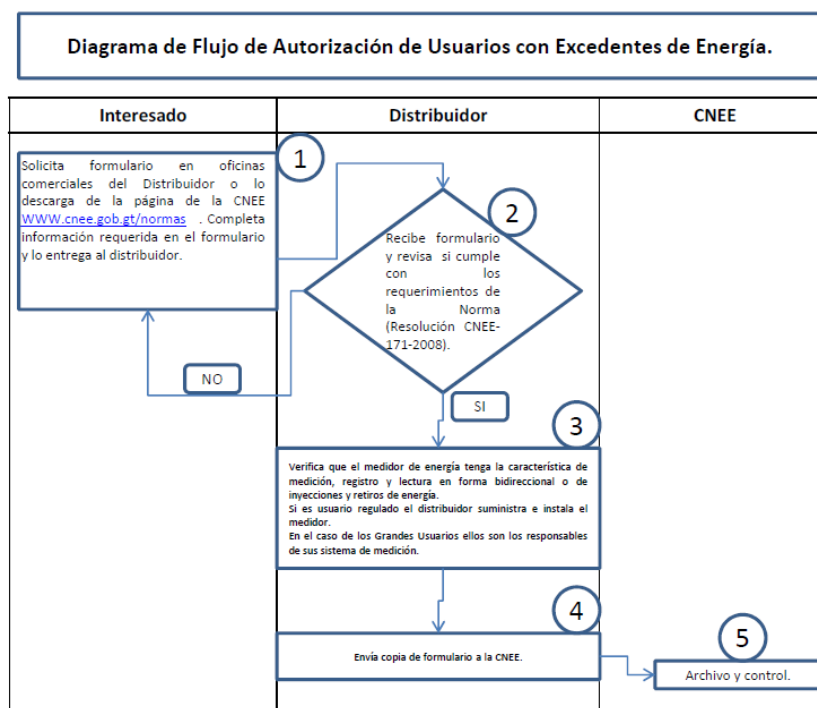
inyecta a la red posea corriente alterna (CA), ya que la suministrada por los paneles solares es corriente continua (CC). Esto se logra usando inversores que cambian la corriente CC a CA. En el caso los paneles cotizados, cada unidad trae su propio micro inversor.

FIGURA 32: Sistema de generación atado a la red proporcionado por la empresa GREEN



El procedimiento que se debe seguir para solicitar un sistema de generación atado a la red se detalla en el siguiente diagrama de flujo suministrado por la CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica):

FIGURA 33: Diagrama de flujo de autorización de usuarios con excedentes de energía (empresa EEGSA)



Las cotizaciones, formularios y resoluciones involucradas con la solicitud de estos sistemas se pueden encontrar en la sección de anexos. La información técnica de los paneles fotovoltaicos cotizados es la siguiente:

CUADRO 34: Información de los paneles fotovoltaicos de GREEN

Modelo	SISTEMA ECOSUN® TARÁNTULA		
	Diaría		
Generación eléctrica unitaria (kWh)	0.24		
Horas efectivas de uso al día (promedio)	5		
Generación eléctrica unitaria diaria (kWh)	1.2		
Precio unitario, IVA incluido	\$ 998.29		
Costos del sistema requerido:			
Tasa de cambio (Q/\$)	Q 8.01		
Paneles Solares (27 unidades)	\$ 26,953.83		
	Q 215,900.18		
Mantenimiento del sistema	Anual	Mensual	Trimestral
	Q 500.00	Q 41.67	Q 125.00

NOTA:

Inversión: Incluye instalación básica dentro del departamento de Guatemala.

Garantía de fábrica: 10 años en Inversores y 20 años de funcionamiento en Paneles. Bajo Mantenimiento de la empresa GREEN, el costo del mantenimiento es de Q 500.00 anualmente.

Área cubierta por paneles: 43 m²

(Empresa eléctrica de Guatemala, S.A. 2012; GREEN 2012)

Componente #2 – Filtro/desionizador de agua

FIGURA 34: Purificador de agua



(ELGA 2012)

El proveedor de este sistema de deionización es una compañía Inglesa que ahora posee centros de distribución en Estados Unidos, de donde se solicitó el equipo de purificación. El modelo del desionizador de agua es B114. Básicamente es un filtro de sólidos, desionizador y purificador de agua potable que puede llegar a producir 30 litros por hora de agua tipo II (desionizada) para el uso de diversas aplicaciones laboratorios o como suministro para electrolizadores PEM como el que se está considerando en este trabajo.

La tasa de purificación de agua se puede controlar de acuerdo a la demanda, desde 0 litros por hora hasta 30 litros por hora. Este dispositivo permite monitorear la calidad de agua deseada. A continuación se detalla el precio y las características del dispositivo.

CUADRO 35: Características del purificador de agua

<u>Modelo</u>	<u>Desionizador - B114</u>	
Flujo de salida (l/hr)	0 – 30	
Rendimiento con uso diario permitido (8 hr/día)	< 100 l/día	
Dimensiones (cm)	Altura – 38	
	Ancho – 18	
	Profundidad – 15.2	
Peso (kg)	2.2	
Suministro de agua	Agua potable (del chorro)	
Presión máxima de operación (bar)	0.7 (10 psi)	
Mantenimiento	Cambio de filtro 1 vez al año: Q399.50	
	Q	99.88
Tasa de cambio (Q/\$)	Q	8.01
Precio (Sin IVA)	\$	476.00
Flete	Q	3,812.76
	Q	169.69
Impuestos en Guatemala	Q	487.96
TOTAL	Q	4,470.41

Componente #3 – Tanques de agua desionizada/purificada

FIGURA 35: Tanque de agua purificada



Para este componente se cotizó un tanque de plástico cerrado de 200 litros, “Nuevos Almacenes, S.A.” (CEMACO) es la empresa guatemalteca que proporcionó la cotización. El tanque posee una entrada de agua en la parte de arriba y una salida de agua en la parte de abajo (realizada por el usuario), de esta manera se usará la gravedad para hacer fluir el agua hacia el electrolizador PEM. Detalles del tanque:

CUADRO 36: Características del tanque de agua

Descripción: Tambo P/Gasolina de 5 galones	
5 gal	= 18.925 L
1 gal	= 3.785 L
Precio (Sin IVA)	Q 149.99
IVA	Q 18.00
TOTAL	Q 167.99

Componente #4 – Electrolizador PEM

FIGURA 36: Electrolizador PEM HyGen



(The hydrogen company 2012)

Los proveedores de este electrolizador PEM son las empresas estadounidenses “H-Tech Inc. & The Hydrogen Company”, que se dedican al desarrollo y producción de todo tipo de dispositivos que involucran hidrógeno. Estas dos empresas trabajan en conjunto debido a que H-Tec se dedica al desarrollo tecnológico y The Hydrogen Company se dedica a la producción industrial y distribución de los dispositivos. Debido a que un electrolizador no se daba abasto para cumplir con la producción de hidrógeno del sistema, se decidió conectar cuatro electrolizadores de este modelo en serie. Estos electrolizadores están diseñados para conectarse en serie en caso de necesitar más. Las características del modelo de electrolizador PEM utilizado son las siguientes:

CUADRO 37: Detalles técnicos del electrolizador

Datos técnicos/Características:	Modelo HyGen 120
Tasa de producción de Hidrógeno (NI/hr)	120
Presión de salida	30-116 psi
Pureza de hidrógeno	99.9999%
Suministro de agua (l/h)	0.12
Voltaje Requerido	110-240 Vac
Suministro de energía (kW)	0.9
Temperatura de operación	5 - 35°C
Dimensiones (cm):	
Ancho	58.4
Profundidad	73
Altura	67.1
Peso (lb)	86.3
Tasa de cambio (Q/\$)	Q 8.01
Precio del sistema	\$ 25,181.73
Precio del sistema (Sin IVA)	Q 201,705.66
Flete	Q 1,623.82
Impuestos en Guatemala	Q 24,901.16
TOTAL UNIDAD	Q 228,230.64
TOTAL 4 UNIDADES	Q 912,922.55

CUADRO 38: Mantenimiento del electrolizador

Mantenimiento	Ciclo (meses)	Precio	Mensual	Trimestral
Limpieza y lubricacion	12	Q 50.00	Q 4.17	Q 12.50
Ionic exchange resin bag	6	Q 200.25	Q 33.38	Q 100.13
Water circulation pump	24	Q 560.70	Q 23.36	Q 70.09
		Q 810.95	Q 60.90	Q 182.71
		4 unidades		Q 730.85

Componente #5 – Tanques de hidrógeno de baja presión

FIGURA 37: Tanques de hidrógeno de baja presión utilizados en la casa de hidrógeno solar del científico Mike Strizki



(The Hopewell Project 2012)

Para evitar el uso de un compresor para almacenar el hidrógeno como gas presurizado en tanques, se va almacenar el mismo a condiciones atmosféricas (1 atm y 20 °C). Se evita el uso de compresores, ya que estos consumen mucha energía eléctrica y además la mayoría contaminan el hidrógeno cuando se comprime. Los únicos compresores que no contaminan el hidrógeno son los compresores por diafragma, pero éstos tienen un costo muy elevado (desde \$100,000) y además también requieren de mucha energía eléctrica para funcionar. Debido a esto se decidió almacenar el hidrógeno en tanques de baja presión, que normalmente se utilizan para almacenar gas propano (LPG). Los tanques cotizados son usados, ya un tanque nuevo se cotiza en el mercado a un precio muy elevado \$18,890.00 (ver cotización en anexos). Para cumplir con las capacidades de producción del sistema se necesitan 11 tanques de 50,000 litros cada uno. Estos tanques deben estar conectados en línea para que todo el hidrógeno almacenado se pueda usar en caso necesario, sin tener que cambiar las conexiones de los tanques hacia la celda de combustión. Los tanques, ya conectados en línea, poseen dos conexiones con el sistema, una de entrada y una de salida de hidrógeno. De esta manera no se interrumpe el flujo del hidrógeno en el sistema. El suministro de hidrógeno de los tanques proviene del electrolizador PEM, mientras que la salida de hidrógeno se da hacia la celda de combustión. A continuación se detallan las características de los tanques.

CUADRO 39: Detalles técnicos de los tanques de baja presión

Modelo	50m ³ LPG Storage Tank	
Flujo de salida	Regulado por la celda de hidrógeno	
Capacidad (l/H ₂) @ 1 atm y 20 °C	50000	
Peso (lb)	15598	
Pureza requerida de hidrógeno	99.99%	
Dimensiones por unidad (m)	7.51 x 2.43 x 3.05	
L x W x H		
Dimensiones 11 unidades (m)	15.02 x 14.57 x 3.05	
L x W x H		
Mantenimiento	Revisión constante, para evitar fugas. Sin costo.	
Tasa de cambio (Q/\$)	Q	8.01
Unidades requeridas	Q	11.00
Precio Unitario Aprox.	\$	9,300.00
Precio total (Sin IVA)	Q	74,493.00
Flete	Q	20,025.00
Impuestos en Guatemala	Q	8,939.16
TOTAL UNIDAD	Q	83,432.16
TOTAL 11 UNIDADES	Q	917,753.76

Componente #6 – Celda de combustión de hidrógeno PEM

FIGURA 38: Celda de combustión de hidrógeno PEM



(The hydrogen company 2012)

Los proveedores de la celda PEM son los mismos que van a proveer el electrolizador (H-Tech Inc. & The Hydrogen Company). La celda PEM a utilizar posee varias celdas PEM apiladas en serie para poder proporcionar el flujo de energía requerido por el sistema. Los datos técnicos y el precio se detallan a continuación.

CUADRO 40: Detalles técnicos de la celda de hidrógeno PEM

Datos técnicos/Características:		
Modelo	H-1000 FC System (1000W)	
Generación de energía (kW)	1	
Insumo de H2 (l/hr)	840	
Suministro de energía (kW)	0.0845	
Peso (lbs)	9.3	
Tasa de cambio (Q/\$)	Q	8.01
Precio del sistema	\$	4,500.00
Precio del sistema	Q	36,045.00
Flete	Q	324.98
Impuestos en Guatemala	Q	4,454.04
TOTAL	Q	40,824.02

CUADRO 41: Mantenimiento de la celda de hidrógeno PEM

Mantenimiento:	Ciclo (meses)	Precio	Mensual	Trimestral
Limpieza y lubricación	12	Q 50.00	Q 4.17	Q 12.50

Componente #7 – Inversor de corriente

FIGURA 39: Inversor de corriente (1000 W)



(The inverter store 2012)

Este dispositivo tiene la función de invertir la corriente eléctrica obtenida de la celda de hidrógeno. Es necesario ya que la corriente eléctrica que proviene de la red de la compañía EEGSA viene en corriente alterna (CA), mientras la suministrada por la celda es corriente continua (CC). El inversor invierte la corriente para poderla inyectar a la red o para usarla directamente como suministro eléctrico del hogar, cuando no se carezca de luz proveniente de la red. Esto se logra haciendo dos circuitos de distribución de la energía eléctrica que sale del inversor. El primero inyecta la energía a la red; y el segundo circuito inyecta la energía eléctrica a la casa para poder hacer uso de ésta cuando se va la luz. Debido a que solo se cuenta con una potencia de 1000W, los dispositivos que se van a usar cuando no haya luz tienen que consumir menos que esta cantidad. Para evitar problemas se sugiere conectar la celda a un circuito con una cantidad de dispositivos que no sobrepasen esta la capacidad de la celda de hidrógeno. Los detalles del inversor se encuentran a continuación.

CUADRO 42: Detalles técnicos del inversor de corriente

Modelo	1000 Watt Pure Sine Power Inverter 12 Volt by AIMS.	
Potencia continua de salida	1000 Watts	
Peso (lb)	6.8	
Suministro de energía (W)	0	
Eficiencia	90 - 95%	
Potencia máxima de operación (W)	2000	
Mantenimiento	Limpieza y lubricación, cada 6 meses. Dato trimestral:	
	Q	12.50
Tasa de cambio (Q/\$)	Q	8.01
Precio (Sin IVA)	\$	299.00
Flete	Q	237.62
Impuestos en Guatemala	Q	772.49
TOTAL	Q	3,405.10

Componente #8 – Mecanismo de monitoreo y seguridad del sistema

FIGURA 40: Sensor de fugas de hidrógeno



(The hydrogen company 2012)

Los proveedores de éste componente son los mismos que van a proveer el electrolizador y la celda PEM (H-Tech Inc. & The Hydrogen Company). Este componente es un sensor que permite monitorear los niveles de hidrógeno, permitiendo detectar cualquier fuga del gas de hasta 4000 ppm de concentración. Este sensor incluye un controlador que puede encontrarse separado del mismo, el controlador permite monitorear el sistema de hidrógeno desde la casa, sin tener que ir personalmente a donde se encuentra el mismo. El sensor no es capaz de detectar otro tipo de combustibles gaseosos. Cuando este dispositivo detecta una fuga de hidrógeno, el controlador del sensor emite una alarma para indicar al usuario de la fuga. Posee una garantía de 10 años y se debe de recalibrar cada 90 días, fuera de esto no posee ningún tipo de mantenimiento. Esta recalibración no involucra ningún costo debido a que puede ser realizada por el usuario siguiendo las instrucciones del manual del dispositivo. Los requerimientos de operación y algunas características se detallan a continuación.

CUADRO 43: Detalles técnicos del sensor de hidrógeno

Requerimientos/Características	
Voltaje (Corriente)	8 – 13 V DC (1 A)
Suministro de energía (W)	10.5
Temperatura de operación	-20 a 40 °C
Dimensiones	Largo: 7.2 plg
	Ancho: 4.4 plg
	Profundidad: 1.6 plg
Peso (lbs)	0.82
Tasa de cambio (Q/\$)	Q 8.01
Precio del sistema	\$ 1,750.00
Precio del sistema	Q 14,017.50
Flete	Q 32.37
Impuestos en Guatemala	Q 1,722.99
TOTAL	Q 15,772.86

Componente #9 – Tuberías, válvulas, reguladores y arrestadores

Todos estos componentes son instalados por la empresa Productos del Aire, S.A., quienes también capacitan al usuario sobre las funciones y cualquier otro aspecto relevante de los dispositivos. Es importante mencionar la función del regulador de presión de hidrógeno en línea y el arrestador de flama en línea. El regulador de presión sirve para que el usuario posea la manera de supervisar y controlar la presión de entrada y salida del hidrógeno hacia la celda de combustión PEM. El arrestador de flama en línea se coloca en la tubería que lleva del generador de hidrógeno hacia el tanque, debido a que la función de éste es cortar cualquier flama o fuego que se produzca en la línea de hidrógeno y evitar que ésta llegue al tanque. También se debe de poner un regulador en la línea de hidrógeno que conecta los tanques con la celda de

combustión PEM. Las válvulas y demás componentes necesarios se detallan a continuación, con su respectivo precio. Los demás componentes se detallan en la cotización suministrada por Productos del Aire, S.A que se encuentra en la sección de anexos. (Productos del aire 2012)

CUADRO 44: Costos de tubería, válvulas, reguladores y arrestadores

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Total
-	Tubería de acero inoxidable SCH-40	Q 4,845.12	Q 4,845.12
4	Valvula de acero inoxidable	Q 250.00	Q 1,000.00
1	Regulador para hidrógeno en línea	Q 4,079.56	Q 4,079.56
4	Valvula de cheque	Q 300.00	Q 1,200.00
2	Arrestador de flama para H2	Q 21,228.97	Q 42,457.94
-	Transporte, instalación y pruebas de funcionamiento	Q 3,007.00	Q 3,007.00
Sub-Total			56,589.62
IVA (12%)			6,790.75
TOTAL			63,380.37

CUADRO 45: Mantenimiento de tubería, válvulas, reguladores y arrestadores

Mantenimiento de tubería:	Trimestral	
Revisión cada 2 años	Q 300.00	Q 37.50

Generación energética del sistema

Luego de poseer todos los detalles técnicos de los componentes del sistema se realizó un estudio que permite determinar la generación anual de energía eléctrica (kWh) e hidrógeno (litros). Estos datos se pueden observar en la siguiente tabla:

CUADRO 46: Generación de energía eléctrica anual de los paneles fotovoltaicos

<i>Generación de energía eléctrica anual</i>	
Cantidad de paneles solares	27.00 u
Temporada normal	7,776.00 kWh
Temporada lluviosa	2,430.00 kWh
TOTAL	10,206.00 kWh

CUADRO 47: Generación anual de hidrógeno

<i><u>Generación de hidrógeno anual</u></i>	
Cantidad de electrolizadores	4.00 u
Consumo eléctrico de la casa	4,800.00 kWh/año
kWh excedentes y disponibles	5,406.00 kWh/año
Consumo de electrolizadores	4,037.14 kWh/año
Excedente utilizado para operar los demas componentes	1,368.86 kWh/año
Cantidad de hidrógeno generado	538,285.09 L/año

La cantidad de hidrógeno generada anualmente es equivalente a 640.82 kWh, que se pueden usar en cualquier momento y para la aplicación que el usuario desee. Con estos datos se calculó que una eficiencia (salida de energía/entrada de energía) aproximada del sistema de hidrógeno solar de 11.85%, sin tomar en cuenta la eficiencia de los paneles solares.

Si no se consume todo el hidrógeno generado, se puede utilizar el mismo como sustituto del combustible en un carro. Es importante mencionar que para poder hacer esto se debe contar con un carro que funcione a partir de hidrógeno. De esta manera también se estaría ahorrando el dinero utilizado para comprar combustible y además se estaría eliminando la contaminación causada por un carro a base de combustibles fósiles. Como se mencionó anteriormente la combustión del hidrógeno genera oxígeno y agua. El oxígeno se libera al ambiente ayudando a mantener los niveles de oxígeno adecuados en el aire y el agua se puede desechar o reutilizar para generar más hidrógeno. Debido a esto el sistema es considerado como una de las mejores formas de utilizar energía renovable, sin causar ningún tipo de contaminación.

VII. ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD

A. Sistema de generación de biogás

5. Estudio económico

a. Vida del proyecto. Un biodigestor de bolsa podría durar más de diez años, dependiendo de la calidad de la construcción, los materiales utilizados y el mantenimiento. Sin embargo, la vida económica de un biodigestor de bolsa se toma como diez años, principalmente porque cualquier costo o beneficio acumulado después de diez años tendrá un valor insignificante si se descuenta el valor actual.

b. Beneficios

1) Beneficios no contables. Todos los beneficios de una planta de biogás no tienen un precio fijo o no pueden compararse con un precio de los productos o servicios similares en el mercado. Por ejemplo, es difícil poner un valor monetario para el beneficio de limpiar la granja y disminuir la población de patógenos peligrosos.

Existen instrumentos económicos que se pueden utilizar para asignar valor monetario a estos beneficios. Pero no son sólo sofisticados de usar pero también abren lugar a controversias. Para realizar el análisis financiero lo más simple y comprensible posible, todos estos beneficios generalmente no se incluyen. Sin embargo, cabe señalar que tales beneficios si ocurren a los usuarios individuales y deberían de ser tomados en cuenta, si hubiera algún método simple de hacerlo.

Esto indica que incluso si el análisis financiero muestra cero beneficios netos de la instalación de una planta de biogás, debe ser interpretado como que tiene beneficios netos positivos, debido a los factores que no tienen precio.

Una de las maneras para dar cuenta de todos los beneficios que no tienen precio es preparar una lista exhaustiva de tales beneficios, asignar coeficiente de ponderación (un valor numérico) a cada categoría de los beneficios en función de su importancia para la familia (para el análisis financiero) y para la sociedad (para el análisis económico). Tales números son entonces procesados para llegar a un número único que podría ser utilizado como una base objetiva para la toma de decisiones.

La tecnología del biogás también proporciona una base de recursos adicionales que abre una nueva oportunidad para obtener ganancias financieras en el futuro. Por ejemplo, con la disponibilidad del estiércol líquido, un agricultor puede sacar provecho de la cría de cerdos o peces ya que podría complementar hasta

el 30 por ciento de su alimentación que conduce a una disminución sustancial en el costo de producción. Pero esos "posibles beneficios" no deben ser incluidos en el análisis financiero hasta que haya una razón de peso para creer que en realidad esa oportunidad se llevará a cabo por el usuario en un marco de tiempo definido

2) Combustible para cocinar ahorrado. En la forma general de análisis financiero, sólo los elementos que pueden ser cuantificados con un precio están incluidos en el flujo de beneficios que se acumulan durante una operación.

Uno de los usos más importantes de biogás para una familia es su gas para cocinar. La mayoría de la población rural utiliza en sus hogares leña para cocinar. Con este supuesto, el valor de la leña ahorrada se convierte en un beneficio de la planta de biogás. Para una familia que cocina en estufa de queroseno antes de la instalación de la planta de biogás, el precio del queroseno ahorrado es el beneficio contable. Los problemas asociados con la recolección, almacenamiento y uso de leña se pueden evitar con la disponibilidad de gas. Estos son los beneficios más apreciados de la planta también en términos de reducción del trabajo de las mujeres que son responsables de la mayor parte de estas actividades.

Para el presente trabajo, toda la leña y el gas propano se toman con un valor con base en el precio de mercado. Los análisis realizados reflejan la situación de un usuario que solía comprar leña o gas propano antes de la instalación de la planta y no tiene que comprar después. Tal hipótesis debe ser comprobada y valor apropiado se debe utilizar para reflejar mejor la situación en diferentes contextos. Las relaciones entre la cantidad de gas producido, la cantidad de leña o gas ahorrada y el valor de tal ahorro para los tamaños de plantas se presentan en el sobre la base de los siguientes supuestos:

- 6 kg de estiércol se requiere por m³ tamaño de la planta de biogás
- 0.036 m³ de gas es producido por kg de estiércol de ganado fresca
- 1 m³ de gas es equivalente a 3,5 kg de leña
- El poder calorífico del propano es 46340 KJ/kg
- Precio de la leña en el mercado en el mercado: Q1.25 por kilogramo
- Precio del gas en el mercado: Q.4.72 por libra

En estos cálculos, se debe tener cuidado en utilizar el valor de la leña o el gas ahorrado y no el valor del total de gas producido como equivalente al costo. Estos dos valores pueden diferir en los casos en que no sea consumido todo el gas producido y el uso ocasional de leña o gas que sea necesario debido a la baja producción de gas tal como en el invierno. Los estudios preliminares de casos han demostrado que el biogás reemplaza aproximadamente 80 por ciento del consumo en usuarios en general, se sigue utilizando la leña y el propano calefacción y cocción de alimentos en el invierno, cuando la producción de gas es baja.

En este análisis, se supone que todo el gas producido es consumido y no hay necesidad de utilizar otro combustible incluso en el invierno.

CUADRO 48: Ahorro de leña y gas propano anual

tamaño de biodigestor (m ³)	estiércol (kg/día)	producción gas (m ³ /día)	producción gas (m ³ /año)	leña equivalente (kg/año)	leña equivalente (Q/año)	propano equivalente (kg/año)	propano equivalente (Q/año)
4	24	0.864	311.04	1088.64	Q1,360.80	134.242555	Q1,396.90
6	36	1.296	466.56	1632.96	Q2,041.20	201.3638325	Q2,095.35
10	60	2.16	777.6	2721.6	Q3,402.00	335.6063876	Q3,492.26
15	90	3.24	1166.4	4082.4	Q5,103.00	503.4095814	Q5,238.39

Para realizar los cálculos se encontró un tasa de crecimiento para el precio de la leña como para el precio del gas propano. En el caso de la leña se observó que el precio no cambia considerablemente a lo largo de los años por lo que el único incremento que se observó fue la inflación, 7.6% anual. En el caso del propano se realizó un análisis de los precios del propano durante los últimos 10 años y con base en esto se sacó una tasa de crecimiento promedio que fue del 7.39% anual.

CUADRO 49: Ahorro de leña de los próximos 10 años

tamaño de biodigestor	Año									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Q1,396.90	Q1,500.07	Q1,610.86	Q1,729.83	Q1,857.59	Q1,994.79	Q2,142.12	Q2,300.33	Q2,470.22	Q2,652.66
6	Q2,095.35	Q2,250.11	Q2,416.29	Q2,594.75	Q2,786.39	Q2,992.18	Q3,213.17	Q3,450.49	Q3,705.33	Q3,978.99
10	Q3,492.26	Q3,750.18	Q4,027.16	Q4,324.59	Q4,643.99	Q4,986.97	Q5,355.29	Q5,750.81	Q6,175.55	Q6,631.65
15	Q5,238.39	Q5,625.27	Q6,040.73	Q6,486.88	Q6,965.98	Q7,480.46	Q8,032.94	Q8,626.22	Q9,263.32	Q9,947.47

CUADRO 50: Ahorro de gas propano de los próximos 10 años

tamaño de biodigestor	Año									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Q1,396.90	Q1,500.07	Q1,610.86	Q1,729.83	Q1,857.59	Q1,994.79	Q2,142.12	Q2,300.33	Q2,470.22	Q2,652.66
6	Q2,095.35	Q2,250.11	Q2,416.29	Q2,594.75	Q2,786.39	Q2,992.18	Q3,213.17	Q3,450.49	Q3,705.33	Q3,978.99
10	Q3,492.26	Q3,750.18	Q4,027.16	Q4,324.59	Q4,643.99	Q4,986.97	Q5,355.29	Q5,750.81	Q6,175.55	Q6,631.65
15	Q5,238.39	Q5,625.27	Q6,040.73	Q6,486.88	Q6,965.98	Q7,480.46	Q8,032.94	Q8,626.22	Q9,263.32	Q9,947.47

3) Valoración de los beneficios de iluminación. El biogás también se utiliza para la iluminación, junto con su uso para cocinar. El beneficio de la iluminación puede ser cuantificado en términos de costos ahorrados por la reducción del uso de kerosene, velas de parafina o electricidad en función de lo que se utilizó antes de la instalación de la planta de biogás.

Las lámparas de biogás proporcionan una iluminación más fiable que la electricidad (en las zonas afectadas por las fallas de carga) y mejor luz que el queroseno. Sin embargo, a tal conveniencia no se le puede dar un valor. Como iluminación forma parte muy pequeña del flujo de beneficios, su valor no está incluido en los análisis.

4) Valor de salvamento. El valor de salvamento de la planta de biogás no está incluido en el flujo de beneficios del análisis financiero ya que después de diez años de funcionamiento, la planta o sus partes no estarán en condiciones de volver a venderse.

c. Costos

1) Inversión. Para este análisis se realizó la cotización en distintas empresas que ofrecen el servicio de construcción de biodigestores y se llegó a la conclusión que la que Mexichem S.A. tiene el diseño que mejor se adapta a las características de la planta definida a utilizar en el proyecto, además la información obtenida de esta empresa era más detallada.

La guía para la construcción de un digestor de bolsa, donde se explican las partes del mismo y su construcción se puede encontrar en el Anexo 2.

La inversión en la construcción de una planta de biogás no varía mucho entre plantas desde $4 m^3$ hasta $20 m^3$. Los cambios en las cajas de entrada y salida y en la tubería, son mínimos el mayor aumento está en el costo de la bolsa. Las tablas 6 y 7 presentan el desglose de los costos de construcción proporcionados por la empresa para biodigestores de distinta capacidad.

CUADRO 51: Costo biodigestores

	Tamaño de biodigestor (m^3)			
	4	6	10	15
Bolsa	Q3,000.00	Q5,250.00	Q8,250.00	Q11,000.00
Cajas de recolección	Q400.00	Q500.00	Q625.00	Q781.25
Tuberías	Q200.00	Q250.00	Q300.00	Q350.00
Quemadores y cilindros	Q1,000.00	Q1,000.00	Q1,000.00	Q1,000.00
Válvulas	Q300.00	Q300.00	Q300.00	Q300.00
Imprevistos	Q200.00	Q200.00	Q200.00	Q200.00
Total	Q5,100.00	Q7,500.00	Q10,675.00	Q13,631.25

2) **Costo de mantenimiento y operación.** La compañía Mexichem dio los costos estimados de operación y mantenimiento que ellos manejan para estos biodigestores, estos costos están basados en estudios realizados por ellos en Costa Rica y El Salvador. Estos costos fueron utilizados ya que los países estudios cuentan con condiciones climáticas muy parecidas a las de Guatemala.

CUADRO 52: Costos mantenimiento y operación

	Tamaño de biodigestor (m^3)			
	4	6	10	15
Operación	Q100.00	Q150.00	Q250.00	Q375.00
Mantenimiento	Q300.00	Q450.00	Q750.00	Q1,125.00
Total	Q400.00	Q600.00	Q1,000.00	Q1,500.00

Algunos de los costos de mantenimiento incurridos son: cambio de válvulas de gas, reparaciones en la bolsa y reparaciones de las cajas de entrada y salida, entre otras. Todos estos artículos y reparaciones son afectados por la inflación por lo que esta es agregada al análisis de flujo de efectivo.

d. Herramientas utilizadas

1) Análisis de flujo de efectivo. El procedimiento básico de un análisis de flujo de efectivo es introducir todos los ingresos y egresos anuales que serán recibidos durante la vida estimada del proyecto. Por último, para cada año, los gastos se deducen de los ingresos. El resultado llegó por tanto a es el flujo neto de efectivo o beneficio neto. En general, en el primer año del proyecto, el flujo neto de efectivo o beneficio neto tiende a ser negativo, debido a los gastos realizados para cubrir los costos de establecimiento (de Castro, 1994).

2) Valor Presente Neto (VPN). A medida que los costos y beneficios de un proyecto se extienden en los años de la vida útil del proyecto, es necesario que estos se expresen en términos de un denominador común para hacer la comparación posible. Una vez que el flujo de efectivo anual de un proyecto se deriva, tiene que ser modificado de modo que todos los valores puedan ser comparados con el valor de un solo año (de Castro, 1994). Este flujo de efectivo neto proporcionará un criterio ampliamente utilizado para medir la rentabilidad de un proyecto. Para este propósito, todos los valores futuros se descuentan para hacerlos equivalentes al valor actual. La técnica de Valor Presente Neto mide la solvencia de un proyecto convirtiendo el flujo de efectivo anual a un único valor presente. Un Valor Presente Neto positivo indica que los beneficios son mayores que los costos que se acumulan en la vida del proyecto.

Para encontrar el Valor Presente de los flujos de efectivo se utiliza una tasa de descuento, que generalmente, es igual a la tasa de interés que paga el banco, es decir el costo de oportunidad de invertir ese dinero en un banco nacional. La tasa de descuento utilizada para este análisis es del 5% que es la que muestra el Banco de Guatemala la fecha 1 de octubre de 2012.

3) Tasa Interna de Retorno (TIR). La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la medida más ampliamente utilizada para calcular la rentabilidad del proyecto, se define como la tasa de descuento que hace que el Valor Presente Neto de un proyecto sea cero. En otras palabras, es la tasa de descuento que hace que los beneficios de un proyecto sean igual a sus costos, en un valor presente. También se puede ver cómo la tasa de interés que la inversión paga al usuario. El cálculo de la TIR requiere métodos de prueba y error. El VPN debe ser calculado suponiendo varias tasas de descuento hasta que el valor es cero.

4) Tasa Mínima Atractiva de Retorno (TMAR). Es la tasa de ganancias anuales mínimas para considerar un proyecto como factible. Es decir, es la tasa de retorno que el capital generaría de ser invertido en otros proyectos. Para calcular dicha tasa se toman en cuenta: la tasa líder, la prima por riesgo del negocio y la utilidad deseada.

La tasa líder se encontró en la página de internet del Banco de Guatemala, según esta para octubre de 2012 es del 5%. Este mismo dato se utilizó para los cálculos del Valor Presente Neto. Se estimaron los riesgos asociados con la inversión y se les adjudicó un valor porcentual para utilizarlos en el cálculo de la TMAR. Los principales riesgos encontrados fueron:

Enfermedades que disminuyan la capacidad de recolección de estiércol: una epidemia en el ganado puede generar enfermedad y muertes que disminuirán la cantidad de excretas generadas, esto causaría un declive en la cantidad de gas generado por lo que se considera un riesgo de un 1.5%.

Posibles daños a la bolsa: un desastre natural o un accidente puede causar un daño irreparable a la bolsa de digestión, esto causaría un alto costo de reparación o una pérdida del sistema, este riesgo debe de tomarse en cuenta ya que las bolsas poliméricas tienen alta probabilidad de cortes, pro esto se considera un riesgo de 2%.

Por último se agregó una utilidad deseada mínima de 5%. Al sumar todos os porcentajes se encontró una TMAR de 13.5%. Se debe tomar en cuenta la inflación, ésta se consiguió del promedio de inflación publicada por el Banco de Guatemala y es de un 7.6%.

Sumando la TMAR encontrada con la inflación se encontró la TMAR_i de 21.1% la cual se utilizara para comparar con la TIR y decir si es recomendable invertir en un sistema de generación de biogás.

2. Análisis financiero

CUADRO 53: Análisis financiero para una planta de 4 m³ (con ahorro de leña)

	Año										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Beneficios	Ahorro en leña	Q1,360.80	Q1,464.22	Q1,575.50	Q1,695.24	Q1,824.08	Q1,962.71	Q2,111.87	Q2,272.38	Q2,445.08	Q2,630.90
	Inversión	Q5,000.00									
	Operación	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00
Costos	Mantenimiento	Q300.00	Q322.80	Q347.33	Q373.73	Q402.13	Q432.70	Q465.58	Q500.96	Q539.04	Q580.00
	Total anual	Q4,039.20	Q1,041.42	Q1,128.17	Q1,221.51	Q1,321.94	Q1,430.01	Q1,546.29	Q1,671.41	Q1,806.04	Q1,950.90

TIR 29%

VPN Q5,772.18

CUADRO 54: Análisis financiero para una planta de 4 m³ (con ahorro de propano)

	Año										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Beneficios	Ahorro en propano	Q1,396.90	Q1,500.07	Q1,610.86	Q1,729.83	Q1,857.59	Q1,994.79	Q2,142.12	Q2,300.33	Q2,470.22	Q2,652.66
	Inversión	Q5,000.00									
	Operación	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00
Costos	Mantenimiento	Q300.00	Q322.80	Q347.33	Q373.73	Q402.13	Q432.70	Q465.58	Q500.96	Q539.04	Q580.00
	Total anual	Q4,003.10	Q1,077.27	Q1,163.53	Q1,256.10	Q1,355.46	Q1,462.09	Q1,576.54	Q1,699.36	Q1,831.18	Q1,972.65

TIR 30%

VPN Q6,018.26

CUADRO 55: Análisis financiero para una planta de 6 m³ (con ahorro de leña)

	Año										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Beneficios	Ahorro en leña	Q2,041.20	Q2,196.33	Q2,363.25	Q2,542.86	Q2,736.12	Q2,944.06	Q3,167.81	Q3,408.56	Q3,667.61	Q3,946.35
Costos	Inversión	Q7,500.00									
	Operación	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00
	Mantenimiento	Q450.00	Q484.20	Q521.00	Q560.60	Q603.20	Q649.04	Q698.37	Q751.45	Q808.56	Q870.01
	Total anual	Q6,058.80	Q1,562.13	Q1,692.25	Q1,832.26	Q1,982.92	Q2,145.02	Q2,319.44	Q2,507.12	Q2,709.06	Q2,926.35

TIR

29%

VPN

Q8,658.27

CUADRO 56: Análisis financiero para una planta de 6 m³ (con ahorro de propano)

	Año										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Beneficios	Ahorro en propano	Q2,095.35	Q2,250.11	Q2,416.29	Q2,594.75	Q2,786.39	Q2,992.18	Q3,213.17	Q3,450.49	Q3,705.33	Q3,978.99
Costos	Inversión	Q7,500.00									
	Operación	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00	Q150.00
	Mantenimiento	Q450.00	Q484.20	Q521.00	Q560.60	Q603.20	Q649.04	Q698.37	Q751.45	Q808.56	Q870.01
	Total anual	Q6,004.65	Q1,615.91	Q1,745.29	Q1,884.16	Q2,033.19	Q2,193.14	Q2,364.80	Q2,549.04	Q2,746.77	Q2,958.98

TIR

30%

VPN

Q9,027.40

CUADRO 57: Análisis financiero para una planta de 10 m³ (con ahorro de leña)

	Año										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Beneficios	Ahorro en leña	Q3,402.00	Q3,660.55	Q3,938.75	Q4,238.10	Q4,906.77	Q5,279.68	Q5,680.94	Q6,112.69	Q6,577.26	
	Inversión	Q10,675.00									
	Operación	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00
Costos	Mantenimiento	Q750.00	Q807.00	Q868.33	Q934.33	Q1,081.74	Q1,163.95	Q1,252.41	Q1,347.60	Q1,450.01	
	Total anual	-Q8,273.00	Q2,603.55	Q2,820.42	Q3,053.77	Q3,304.86	Q3,865.73	Q4,178.53	Q4,515.10	Q4,877.24	

TIR 36% VPN Q16,168.54

CUADRO 58: Análisis financiero para una planta de 10 m³ (con ahorro de propano)

	Año										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Beneficios	Ahorro en propano	Q3,492.26	Q3,750.18	Q4,027.16	Q4,324.59	Q4,643.99	Q4,986.97	Q5,355.29	Q5,750.81	Q6,175.55	Q6,631.65
	Inversión	Q10,675.00									
	Operación	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00	Q250.00
Costos	Mantenimiento	Q750.00	Q807.00	Q868.33	Q934.33	Q1,005.33	Q1,081.74	Q1,163.95	Q1,252.41	Q1,347.60	Q1,450.01
	Total anual	-Q8,182.74	Q2,693.18	Q2,908.82	Q3,140.26	Q3,388.65	Q3,655.23	Q3,941.34	Q4,248.40	Q4,577.95	Q4,931.64

TIR 37% VPN Q16,783.76

CUADRO 59: Análisis financiero para una planta de 15 m³ (con ahorro de leña)

	Año										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Beneficios	Ahorro en leña	Q5,490.83	Q5,908.13	Q6,357.15	Q6,840.29	Q7,360.15	Q7,919.53	Q8,521.41	Q9,169.04	Q9,865.88	
	Inversión	Q13,631.25									
	Operación	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00
Costos	Mantenimiento	Q1,125.00	Q1,210.50	Q1,302.50	Q1,401.49	Q1,508.00	Q1,622.61	Q1,745.93	Q1,878.62	Q2,021.39	Q2,175.02
	Total anual	Q10,028.25	Q3,905.33	Q4,230.63	Q4,580.66	Q4,957.29	Q5,362.55	Q5,798.60	Q6,267.79	Q6,772.64	Q7,315.87

TIR 44%

VPN Q26,520.67

CUADRO 60: Análisis financiero para una planta de 15 m³ (con ahorro de propano)

	Año										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Beneficios	Ahorro en propano	Q5,238.39	Q5,625.27	Q6,040.73	Q6,486.88	Q6,965.98	Q7,480.46	Q8,032.94	Q8,626.22	Q9,263.32	Q9,947.47
	Inversión	Q13,631.25									
	Operación	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00	Q375.00
Costos	Mantenimiento	Q1,125.00	Q1,210.50	Q1,302.50	Q1,401.49	Q1,508.00	Q1,622.61	Q1,745.93	Q1,878.62	Q2,021.39	Q2,175.02
	Total anual	-Q9,892.86	Q4,039.77	Q4,363.24	Q4,710.39	Q5,082.98	Q5,482.85	Q5,912.01	Q6,372.60	Q6,866.93	Q7,397.46

TIR 46%

VPN Q27,443.49

Se realizó el análisis financiero para cuatro biodigestores con distintas capacidades volumétricas de 4, 6, 10 y 15 m^3 . Esto para poder observar como se comporta el flujo de efectivo a medida que el biodigestor es más grande. Un digestor de mayor capacidad requiere una mayor cantidad de excretas por lo que el tamaño del digestor va relacionado con el tamaño de la granja.

La otra variable que se tomó en cuenta fue el combustible utilizado antes de colocar el biodigestor, gas propano o leña, cada uno de estos tiene un costo diferente y afecta directamente al análisis de flujo de efectivo. Para tener un panorama completo se realizaron los cálculos con las diferentes interacciones entre estas 2 variables. Los flujos de efectivo, el Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno para cada caso se presentan en las TABLAS 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, y 16.

De todas las tablas se concluye que el tipo de combustible que se utilizaba antes de la instalación del biodigestor no cambia en gran cantidad los flujos de efectivos anuales ni cambia el resultado del análisis financiero. Esto se debe a que ambos combustibles son utilizados en el mercado y para que esto suceda su precio debe ser similar.

Se utilizó el precio de la leña del mercado para realizar los cálculos sin embargo en muchas granjas agrícolas esta no se compra, es cortada de árboles en la misma granja o en lugares cercanos. Sin embargo definir el costo monetario del tiempo ahorrado en cortar leña, es posible, pero los resultados no son muy exactos y dejan lugar a la interpretación.

Se puede observar que en todos los casos la Tasa Interna de Retorno (TIR) es mayor o igual al 30% esto es casi 9 puntos porcentuales mayor a la TMARi de 21.1. Esto muestra que la inversión en el sistema de generación de biogás generaría una ganancia a las granjas agropecuarias. Y si lo comparamos con el 5% de interés que paga el banco actualmente, esta inversión demuestra ser rentable. Para una granja de gran tamaño la tasa de retorno aumenta lo cual es un buen incentivo para que las granjas se expandan. Además la flexibilidad del modelo elegido permite cambios si la granja aumenta su capacidad.

La compra de más ganado para tener una mayor cantidad de excretas y optar a un biodigestor más grande es justificada siempre y cuando el ganado tenga un fin en el que el costo del mismo no afecte al flujo de efectivo de la planta. Así si un agricultor quiere comprar 2 vacas que aumenten el volumen de entrada del biodigestor y le permitan tener un biodigestor más grande. Estas vacas deben de tener un fin, como ser vendida por libra, que haga que su costo no se agregue al costo de inversión del sistema de generación de biogás, si no que sea una inversión paralela.

También se tiene que cuidar que la inversión en una mayor cantidad de ganado llene la demanda de excretas del biodigestor que se escoja. Ya que si el biodigestor no recibe toda la carga necesaria la

cantidad de biogás producido será menor al esperado. Para ayudar en este proceso se presenta la TABLA 19.

CUADRO 61: Cantidades necesarias para cumplir demanda de biodigestor

Desecho	Tamaño de biodigestor			
	3	6	10	15
Cerdos	6	8	14	20
Vacunos	1	2	3	4
Equinos	2	3	5	7
Ovinos	10	15	24	36
Aves	400	600	1000	1500
Caprinos	16	24	40	60
Humanos	120	180	300	450

GRÁFICO 6: Sensibilidad de la TIR a cambio de precio de la leña

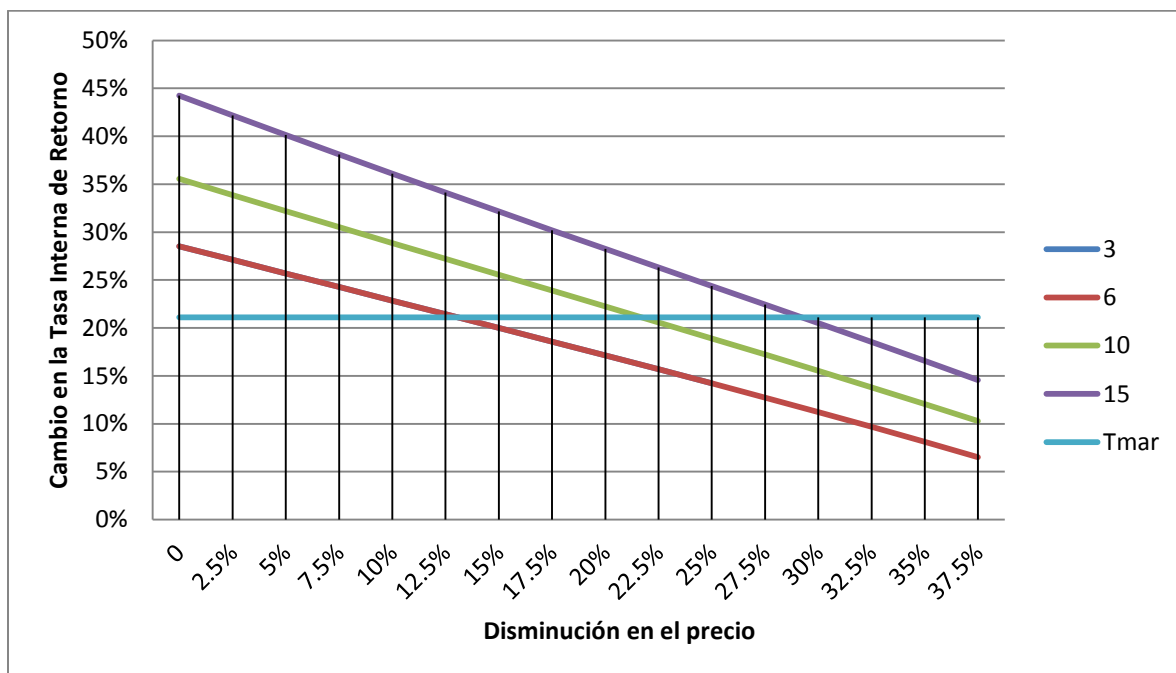
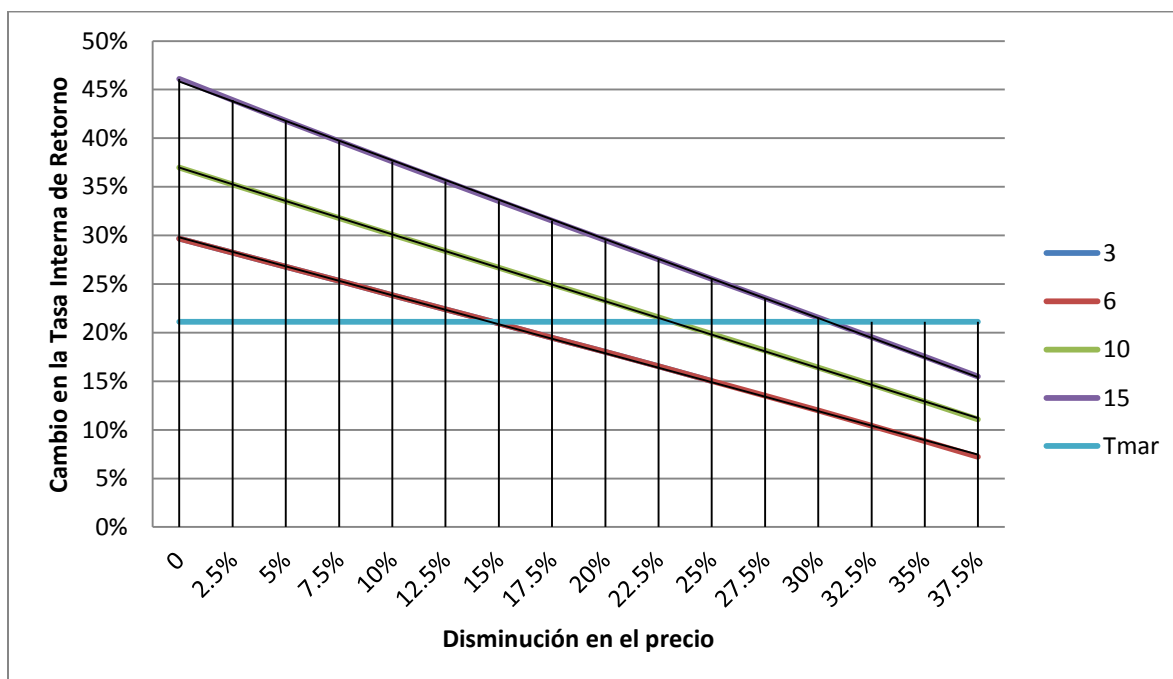


GRÁFICO 7: Sensibilidad de la TIR a cambio de precio del gas propano



Los Gráficos 8 y 9 muestran cómo se comporta la Tasa Interna de Retorno cuando se sufre una disminución el precio de los combustibles. Vemos que el modelo tiene mayor sensibilidad a un cambio en el precio de la leña. Esto muestra que para considerar una inversión basado en el precio de la leña se debe de analizar cómo se encuentra el mercado de este producto, si el precio que se está utilizando es el real o si esta fluctuando para no sobrestimar o subestimar el ahorro que este representa.

El menor cambio en la TIR para un cambio en el precio del propano muestra que el decremento en el precio de este combustible debe de ser mayor para poder tomarlo en cuenta. Sin embargo el precio del gas propano en Guatemala varía constantemente, por lo que esta variable puede causar cambios bruscos en el flujo de efectivo durante el tiempo y en el resultado del análisis.

Se debe tener especial cuidado a que el biodigestor y sus alrededores se mantengan en condiciones óptimas. Las condiciones exteriores como el clima, la humedad y daños en el sistema pueden generar una disminución en la cantidad de biogás que se genera de las excretas.

La sensibilidad de esta capacidad de generación de biogás se comporta de la misma manera que la sensibilidad del precio. Por esto se pueden utilizar las FIGURAS 8 y 9 para analizar los cambios en este factor.

Una buena forma de evitar que los cambios de clima afecten al biodigestor es cubrirlo con una geomembrana que lo mantenga protegido de golpes y evite el contacto directo con la tierra y el clima exterior.

El Valor Presente Neto (VPN) tiene valores que podrían no ser muy atractivos para un agricultor en los biodigestores más pequeños pero a medida que el tamaño aumenta la inversión se hace más rentable. Esto muestra que a medida que la granja agropecuaria es más grande, es decir, tiene una mayor cantidad de ganado, la inversión es más recomendable, desde el punto de vista financiero.

A pesar que el retorno de la inversión no es muy alto para las granjas agropecuarias pequeñas, se debe de tomar en cuenta otros factores que aunque no estén presentes en el análisis financiero, tienen un fuerte impacto económico que no es cuantificable fácilmente. Uno de estos factores es el tiempo, usuarios de plantas de biogás en diferentes países pueden ganar hasta 3 horas al día que antes utilizaban en cortar leña, encender el fuego, entre otros. Este tiempo tiene un valor que no puede cuantificarse, pero en un país como Guatemala puede generar instancias, en las granjas pequeñas o familiares, para que las madres, que generalmente hacen el trabajo de cortar leña y de cocinar, puedan educarse o educar a sus hijos. En las granjas de mayor tamaño, este tiempo puede ser utilizado por los empleados para capacitarse en diferentes oficios para mejorar su desempeño.

Otro punto que agrega valor al biodigestor es el bioabono que se recolecta en la caja de salida. Este también podría generar un ingreso extra para la granja si ésta desea venderlo o pueden utilizarlo en sus cultivos. El beneficio que este abono puede agregar al flujo de efectivo no es agregado ya que la información que existe sobre este bioabono no es tan completa como para determinar su precio en el mercado.

En concepto de higiene se eliminan todas las excretas regadas por la granja, esto evita enfermedades que se dan por la proliferación de mosquitos en estas. Además se puede conectar la letrina o las letrinas de la granja al sistema, esto agregaría material biológico y evitaría que los desechos de las personas terminen en una fuente natural de agua, como sucede a menudo en Guatemala, o en una fosa séptica que genera malos olores y también es una fuente de mosquitos.

B. Fermentación oscura

1. Estudio económico

a. Datos de consumo de energía eléctrica. El consumo de energía eléctrica se obtuvo de una casa de tamaño mediana en la ciudad de Guatemala con un consumo promedio de 400kWh por mes. Este promedio se estimó tomando todos los consumos de energía desde el año 2008 al 2012 y se acercó a un valor mayor al promedio obtenido para siempre tener un consumo de energía razonable. Si existe un excedente de consumo de energía en la casa el sistema es capaz de suplirlo por su capacidad de producir 672kWh por mes. La producción de electricidad excedente se distribuye a través de la red de energía de EEGSA por un contador bifásico a otros consumidores de energía eléctrica del área metropolitana. Este contador controla la cantidad de energía que consume la casa diariamente y el excedente de energía que se comparte con otras personas. El valor trimestral de consumo de energía promedio de la vivienda es de 1,200kWh.

2. Análisis financiero

a. Flujo de efectivo. Los flujos de efectivo se dividen en positivos y negativos de la inversión del sistema se pueden ver en la siguiente tabla. Los flujos positivos son todos los ahorros de energía eléctrica que se obtienen trimestralmente por la producción del sistema de hidrógeno a través de fermentación oscura. Los flujos negativos son la tasa municipal que es de un 13%, el cargo fijo energético trimestral por usar la red de distribución de EEGSA, los mantenimientos trimestrales que se deben hacer para mantener la maquinaria y el equipo en óptimas condiciones y el reabastecimiento de aguas residuales en los tanque de almacenamiento. Se pueden ver en resumen estos flujos en la siguiente tabla.

CUADRO 62: Flujos de efectivo positivos y negativos

Flujo positivo	Monto	Flujos negativos	Monto
Consumo de energía eléctrica trimestral.	Q2000	Tasa Municipal trimestral.	13%
		Cargo Fijo trimestral. (Q/kWh)	1.40
		Cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	9.00
Flujo positivo	Monto	Flujos negativos	Monto
		IVA	12%
		Mantenimiento trimestral.	Q252.24
		Reabastecimiento de aguas residuales/ año.	Q1,660.00

Los flujos se proyectaron hasta el periodo de recuperación de la inversión. Cada flujo se calculó trimestralmente ya que cada trimestre el precio kWh cambia en Guatemala y tiene una tendencia a incrementar 2% cada trimestre. También se estimó el cambio trimestral del cargo fijo y la tasa de municipal

que ocurren cada trimestre. Con estos flujos se predijo el periodo de recuperación de la inversión para recuperar la inversión inicial que es de aproximadamente 50 años. Esta demora del periodo de recuperación se debe por el alto costo de la maquinaria y equipo del sistema, y también por los flujos negativos que atrasan el periodo de recuperación. Se puede observar con detalle los flujos de efectivo en el área de Anexos (Anexo A).

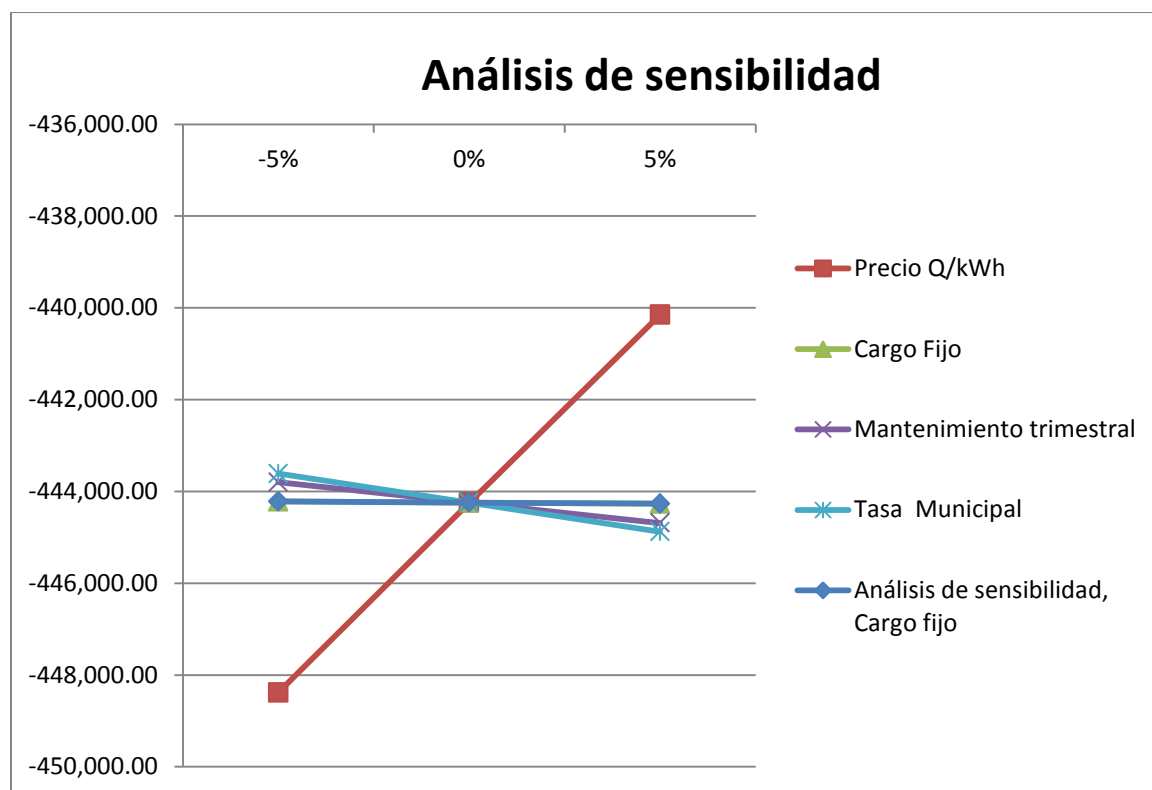
b. Análisis de VPN, TIRM y TMAR. Para comprobar si es factible invertir en un proyecto de esta magnitud se calculó el Valor Presente Neto, la Tasa Interna de Rendimiento Modificada (TIRM) y la Tasa Mínima de Retorno (TMAR). El Valor Presente Neto al hacer calculado en un periodo de 65 años con una Tasa de Retorno de 11.30% igual que la tasa que ofrecería un banco en Guatemala, se obtuvo un retorno negativo de Q (511,566.66). Financieramente esto significa que el sistema es una mala inversión en un periodo de 65 años y se necesita de un periodo mayor para obtener un Valor Presente Neto para recibir un retorno positivo en la inversión. En este caso no se utilizó un periodo mayor ya que todos los datos son estimados y existe una alta probabilidad de error en predecir los flujos de efectivo de gasto eléctrico, cargos fijos, tasa municipal y del mantenimiento del sistema a un periodo mayor de diez años. Esta cantidad de tiempo trae muchas incertidumbres de lo que puede pasar con los precios de electricidad del mercado y si el sistema pueda alcanzar una vida útil de esta magnitud para recuperar la inversión inicial.

La Tasa Interna de Retorno modificada se estimó con la Tasa Mínima de Rendimiento requerida que es de 11.30%, la misma que ofrece un banco si se deposita el dinero por todo un año. Esto significa que la tasa de 11.30% es la tasa mínima requerida para que el proyecto sea aceptado. La TIRM calculada fue de 2.9%, dándonos a saber que el rendimiento de la inversión es menor al aceptado. Financieramente nos comunica que la inversión no puede ser aceptada ya que no se obtendrá el retorno deseado.

La Tasa Mínima de Retorno se estableció considerando un incremento en la inflación de la moneda de 5%, con un rendimiento requerido del 6% de la inversión. Se obtuvo una TMAR de 11.30% para emprender el proyecto, pero desafortunadamente no se puede emprender este proyecto por el periodo de recuperación y por la Tasa Interna de Retorno modificada baja de 7%.

c. **Análisis de sensibilidad.** Se elaboró un análisis de sensibilidad con las variables más significativas que afectan el flujo de efectivo de la inversión. Estas son: el precio del kWh, la tasa municipal, el cargo fijo y el mantenimiento trimestral del sistema. En el análisis se pronosticó cuánto cambiaba una variable si se incurre un cambio de 5% positivo y negativo a través del tiempo de recuperación de la inversión. La variable más sensible es el precio del kWh ya que si aumenta afecta positivamente el flujo y si baja afecta negativamente el flujo.

GRÁFICO 8: Análisis de sensibilidad



Las otras variables no afectan significativamente el proyecto, y es por eso que no se les va tomar mucha importancia como al precio del kWh.

d. Análisis de escenarios

1) **Escenario optimista.** El escenario optimista consiste en descontar el costo de reabastecimiento de aguas residuales porque se está suponiendo que existe una fuente de aguas residuales proveniente de una industria agrícola cerca del sistema donde se puede extraer una cantidad infinita sin costo de aguas residuales. Esto significa que no se necesitarán adquirir tanques de almacenamiento especiales de aguas residuales para el sistema, reduciendo el costo de todo el sistema obteniendo un periodo de retorno de inversión más rápido. Al calcular el valor de la Tasa Interna de Retorno Modificada con los datos optimistas se obtiene una tasa del 3.83% que todavía no es más grande que la tasa de retorno aceptable de 11.30% haciéndola todavía una mala inversión.

2) **Escenario actual.** El escenario actual es el resultado más probable que se puede obtener utilizando los datos recaudados del equipo que conforma el sistema de producción. El periodo de recuperación del proyecto es de 61 años con un Valor Presente Neto negativo de Q (511,566.66) que nos indica financieramente que no es una buena inversión el proyecto.

3) **Escenario pesimista.** El escenario pesimista parte de la suposición de un incremento del 10% en el costo total del sistema. Esto se deberá por la posibilidad de que incurran costos imprevistos y escondidos en el proyecto, dando como resultado un Valor Presente Neto más probable.

CUADRO 63: Resumen de datos de escenarios

Escenarios	VPN	TIRM	Inversión inicial	Periodo de recuperación (años)
Optimista	Q (323,266.72)	3.83%	Q(436,931.19)	48
Actual	Q (511,566.66)	2.9%	Q (598,191.19)	61
Pesimista	Q (571,290.89)	2.74%	Q(657,915.42)	64

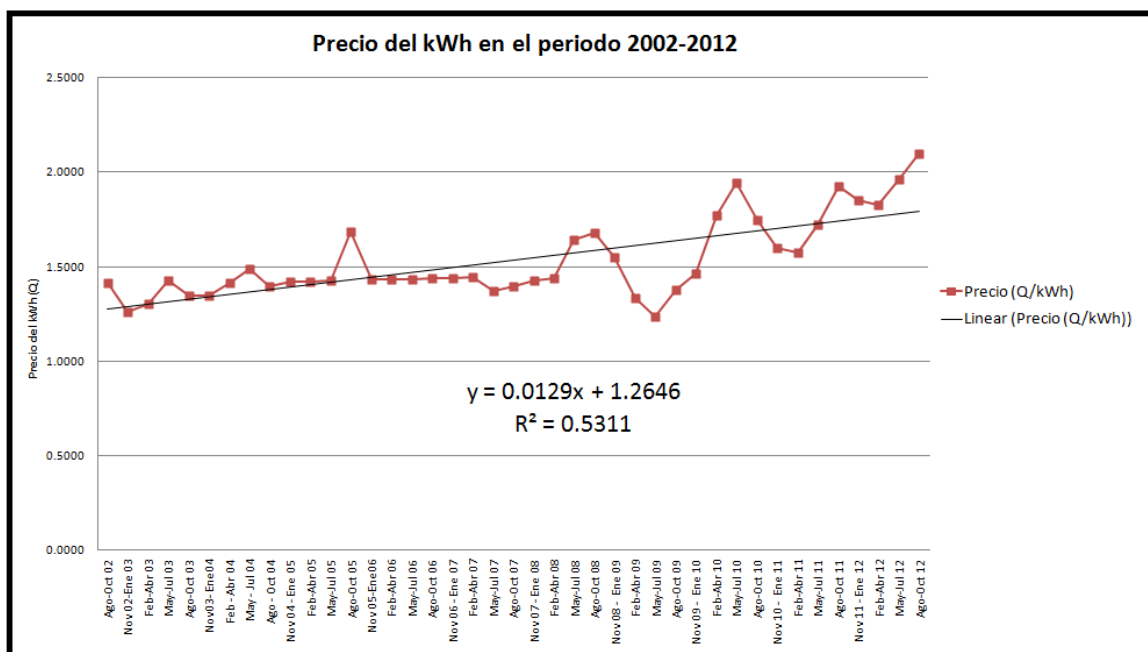
B. Sistema de energía de hidrógeno solar

1. **Estudio económico.** Para determinar el comportamiento del consumo de la energía eléctrica y su precio a lo largo del tiempo se realizó un estudio económico que involucra pronósticos trimestrales del precio por kWh, del cargo fijo por usuario en la ciudad de Guatemala (por los servicios prestados por EEGSA), de la tasa municipal (sobre el consumo eléctrico) y del consumo en una casa de tamaño mediano. La manera en que se pronosticó cada uno de estos datos detalla a continuación:

- **Pronósticos trimestrales del precio por kWh**

Para pronosticar el comportamiento del precio por kWh en la ciudad de Guatemala se realizó una regresión lineal. Se usó el comportamiento de éste del año 2002 a la actualidad (2012). Luego de realizar la regresión lineal se determinó que el precio en quetzales por kWh ha incrementado en un 1.29% cada trimestre, en los últimos diez años. Se usaron datos trimestrales debido a que el precio de la energía eléctrica varía trimestralmente a lo largo del tiempo. La regresión lineal dio como resultado una R^2 de 0.5311, ésta indica que un 53% de los datos utilizados para la regresión se comportan de acuerdo al modelo lineal. Sin embargo indica que el 47% restante de los datos no se comportan de acuerdo al modelo. La gráfica del comportamiento del precio trimestralmente del kWh en quetzales y su respectiva regresión se muestra a continuación:

GRÁFICO 9: Comportamiento del precio del kWh años 2002-2012 (EEGSA)



Debido a la incertidumbre del modelo utilizado se realizó una regresión múltiple para tratar de obtener un modelo, que involucre más factores como el precio del petróleo, y así incrementar la R^2 obtenida. Los factores que se incluyeron para realizar la regresión múltiple son: el tiempo (# De Trimestre), la precipitación total de lluvia (PP), Lluvia por día (RA) y el precio del West Texas Intermediate (WTI) que es el marcador de crudo ligero estadounidense y el principal crudo de referencia internacional. Todos estos factores se estudiaron trimestralmente. Para determinar qué tan significativo era cada uno de estos factores

con el incremento en el precio del kWh en la ciudad de Guatemala, por parte de la empresa EEGSA, se realizó una matriz de correlación. Ésta se encuentra a continuación:

CUADRO 64: Matriz de correlación de posibles factores que afecten el precio del kWh

Matriz de correlación de factores:

	<i>Precio (Q/kWh)</i>	<i># De Trimestre</i>	<i>PP</i>	<i>RA</i>	<i>Precio WTI</i>
Precio (Q/kWh)	1				
# De Trimestre	0.705431605	1			
PP	0.530767788	0.440063963	1		
RA	0.304664354	0.3125465	0.764498532	1	
Precio WTI	0.520970736	0.790463178	0.443841043	0.366864	1

Esta matriz indica que el factor que más está relacionado con el precio del kWh, en la ciudad de Guatemala (EEGSA), es el tiempo con una relación del 70.5%. Sin embargo, los otros datos poseen menos del 53% de relación con el precio, por lo que se consideró tomar la regresión lineal mencionada anteriormente (tiempo vs. precio Q/kWh) para realizar los pronósticos. Además se realizó la regresión múltiple para verificar si la decisión era la correcta. Los resultados de la regresión múltiple se muestran a continuación:

CUADRO 65: Resultados de regresión múltiple incluyendo todos los factores

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.764253621
R Square	0.584083597
Adjusted R Square	0.536550294
Standard Error	0.131683416
Observations	40

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	4	0.852313121	0.21307828	12.28788	2.41354E-06
Residual	35	0.606918271	0.017340522		
Total	39	1.459231392			

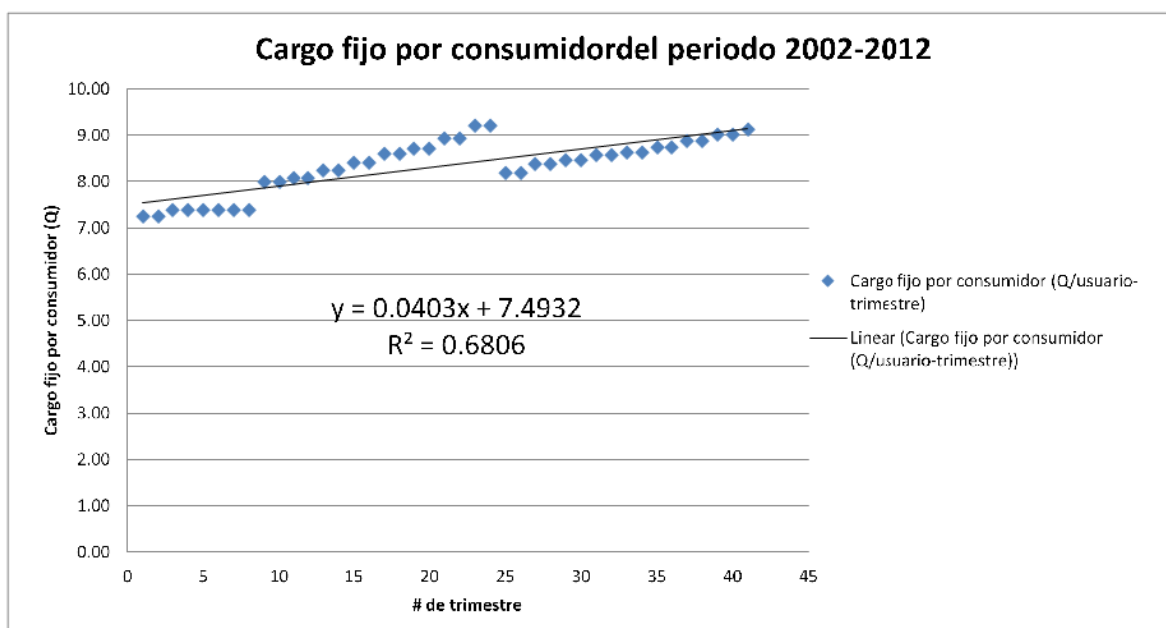
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>
Intercept	1.369609221	0.072705987	18.8376402	6.71E-20	1.222008221
# De Trimestre	0.011404591	0.003004017	3.796447126	0.00056	0.005306113
PP	0.001041308	0.000422369	2.465399613	0.018735	0.000183854
RA	-0.004960525	0.004360933	-1.137491589	0.26306	-0.01381369
Precio WTI	-0.001141541	0.001396263	-0.817568585	0.419135	-0.003976106

La regresión múltiple dio como resultado una R^2 ajustada de 0.53, lo que nos indica que el modelo es muy parecido al lineal realizado al principio. Esto y el hecho de que se necesita contar con los pronósticos de los factores utilizados en la regresión múltiple para hacer pronósticos del precio del kWh (pronósticos sobre pronósticos), llevaron a la conclusión de utilizar la regresión lineal simple para realizar los pronósticos requeridos. Estos pronósticos se encuentran en la sección de anexos.

- **Pronósticos trimestrales del cargo fijo por usuario en la ciudad de Guatemala (por los servicios prestados por EEGSA)**

El cargo fijo por usuario es una tarifa fija establecida por la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. (EEGSA), que todo usuario debe de pagar mensualmente sin importar el consumo que éste realice. Al igual que los pronósticos hechos anteriormente, se usó pronóstico lineal con los datos del periodo de los años 2002 a 2012 trimestralmente. Todos estos datos fueron suministrados por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE). La regresión indicó que el cargo fijo por consumidor en quetzales ha tenido un incremento aproximado de 4% trimestralmente, con una R^2 de .6806 que indica que aproximadamente un 70% de los datos se comportan de acuerdo a el modelo lineal adoptado para realizar los pronósticos. A continuación se muestra la gráfica del cargo fijo por consumidor en quetzales del periodo de los años 2002 a 2012 de manera trimestral. También se muestra la regresión con su respectiva ecuación y su R^2 .

GRÁFICO 10: Comportamiento del cargo fijo por consumidor años 2002-2012 (EEGSA)



- **Pronósticos trimestrales de la tasa municipal (sobre el consumo eléctrico)**

La tasa municipal aplicada por municipalidad de Guatemala en la ciudad, del año 2002 a 2012, solamente ha cambiado dos veces. Estos datos se pueden observar en la siguiente tabla:

CUADRO 66: Comportamiento de la tasa municipal años 2002-2012

PERÍODO DE APLICACIÓN	Tasa Municipal (%)
Enero 2002 hasta el 31-mayo-2009	10%
01-junio-2009 a la fecha	13%

Debido a que la tasa no tiene un comportamiento específico no se pudo realizar ningún tipo de pronóstico. Sin embargo, la CNEE indica que esta tasa no puede variar significativamente en los próximos 5 años y que si llegase a dar un cambio, éste sólo puede ser realizado por la municipalidad de Guatemala. Para fines de este estudio y debido a que la tasa municipal es un cobro porcentual del consumo eléctrico por usuario, se tomó un 13% como tasa municipal constante para aplicar al los cálculos realizados en éste trabajo.

- **Pronósticos trimestrales del consumo en una casa de tamaño mediano**

CUADRO 67: Consumo de energía eléctrica promedio de casa estudiada

Consumo promedio	383.70	(kWh/Mes)
Consumo promedio a utilizar	400	(kWh/Mes)
	1200	(kWh/Trimestre)

Se va a utilizar este dato de consumo promedio debido a que este estudio tiene como mercado objetivo a las personas que consumen más de 300kWh/mes y aplican a la tarifa de Baja Tensión Simple (BTS). La casa y contador que se utilizó para obtener estos datos posee cuatro personas a partir del 2008, de las cuales dos trabajan y hacen uso de la luz generalmente solo durante la noche. Antes del año 2008 la casa estudiada poseía 6 integrantes, de los cuales 3 se mudaron a sus propias casas en el 2008. Es por esto que el consumo promedio se redondeó a 400 kWh/mes, debido a que es un dato redondo y permite simular un consumo más alto, que da lugar a simular el consumo promedio de casas de cuatro a cinco integrantes. Es importante mencionar que la casa utilizada no posee calentador eléctrico, ya que utiliza calentador de gas, por lo que no se utiliza energía eléctrica para calentar el agua de la casa. Estudios y comparaciones

hechas por la empresa que suministró los datos de los paneles solares fotovoltaicos (GREEN) indican que los calentadores de agua eléctricos son los dispositivos que más consumen electricidad en una casa. Para solucionar esto empresas de energía renovable como GREEN ofrecen calentadores solares, que utilizan el calor proveniente del sol para mantener un tanque de agua caliente, que se mantiene a disposición del usuario para cuando éste necesite agua caliente. Los estudios de estos calentadores solares de agua están siendo realizados en otras fases del Mega Proyecto: "Guía para la evaluación del impacto ambiental de construcciones, Parte III", que tiene como subtema el estudio específico de este tipo de paneles solares.

2. Análisis financiero. Luego de realizar los estudios técnicos del sistema se realizó un estudio de todos los costos asociados con la implementación de un sistema de hidrógeno solar en una casa. La siguiente tabla indica los costos de cada componente y el mantenimiento trimestral de cada uno respectivamente. El mantenimiento no se varió con el tiempo para realizar los flujos netos de efectivo, debido a que se espera que se mantenga constante y hasta puede bajar conforme la tecnología baje de precio. Con estos datos se obtuvo la inversión inicial y un mantenimiento neto trimestral para todo el sistema, estos dos datos se muestran hasta de último.

CUADRO 68: Detalles de la inversión inicial del sistema de hidrógeno solar

Sistema de hidrógeno-solar:	Precio
Componente #1 – Paneles solares fotovoltaicos con microinversores de corriente	Q 215,900.18
Mantenimiento trimestral	Q 125.00
Componente #2 – Filtro / desionizador de agua	Q 4,470.41
Mantenimiento trimestral	Q 25.00
Componente #3 – Tanques de agua desionizada/purificada	Q 167.99
Mantenimiento trimestral	Q -
Componente #4 – Electrolizadores PEM	Q 912,922.55
Mantenimiento trimestral	Q 375.00
Componente #5 – Tanques de hidrógeno	Q 917,753.76
Mantenimiento trimestral	Q -
Componente #6 – Celda de combustión de hidrógeno PEM	Q 40,824.02
Mantenimiento trimestral	Q 12.50
Componente #7 – Inversor de corriente (CC-CA)	Q 3,405.10
Mantenimiento trimestral	Q 6.25
Componente #8 – Sensor de fugas de hidrógeno	Q 15,772.86
Mantenimiento trimestral	Q -
Componente #9 – Tuberías, válvulas, reguladores y arrestadores	Q 63,380.37
Mantenimiento trimestral	Q 25.00
INVERSIÓN INICIAL	Q 2,174,597.24
MANTENIMIENTO DEL SISTEMA TRIMESTRAL	Q 568.75

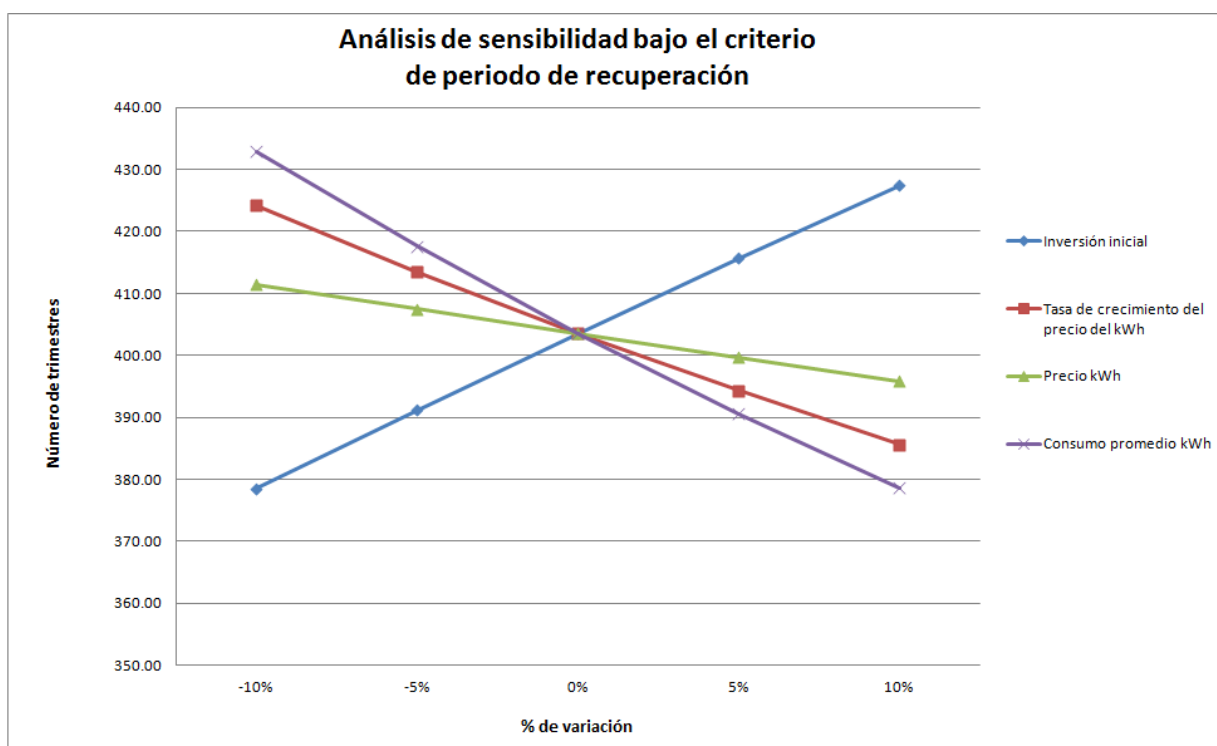
Con las tarifas establecidas por EEGSA y los pronósticos mencionados en el estudio económico, se calculó el cargo total trimestral de electricidad. Este cargo total en quetzales es la cantidad de dinero que el sistema de hidrógeno solar estaría ahorrando al usuario trimestralmente (entrada de dinero). Ahora las salidas de dinero serían el costo del mantenimiento trimestral y el cargo fijo por usuario que cobra EEGSA por sus servicios. Con las entradas y las salidas de efectivo se calcularon los flujos netos de efectivo, que se utilizaron para el análisis financiero del periodo de recuperación. Estos cálculos se pueden observar en las tablas del periodo de recuperación que se encuentran en la sección de anexos. El periodo de recuperación obtenido fue de 403.57 trimestres que son equivalentes a 100 años con 11 meses.

También se calculó el Valor Presente Neto para los flujos de efectivo a lo largo del tiempo requerido para recuperar la inversión (404 trimestres) y se obtuvo un Valor Presente Neto negativo de Q 2,109,488.39. La Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento (TMAR) se calculó trimestralmente sumando la tasa de intereses que paga el banco por tener en plazo fijo dos millones de quetzales, un porcentaje de inflación de 5% (ya que se mantiene entre 4-6%) y un riesgo de 2%. La TMAR anual utilizada es de 15% y 3.63% trimestralmente. Este valor se comparó con la inversión inicial (Q 2,174,597.24) y se obtuvo una diferencia de Q 65,108.85 por lo que se considera que los ingresos generados por el proyecto no son suficientes para recuperar el dinero invertido en el tiempo manejado, con la TMAR establecida. Por lo tanto no es rentable realizar este proyecto bajo las condiciones actuales. Sin embargo se realizó un análisis de sensibilidad que permitió observar qué tan sensible es el periodo de recuperación (en trimestres) a ciertas variaciones en las condiciones establecidas en este estudio. Esto es importante ya que permite determinar cuáles son los factores que el usuario debe de tratar de controlar para volver el proyecto más rentable. Los factores que se variaron son: la inversión inicial, la tasa de crecimiento del precio del kWh, el precio inicial del kWh y el consumo promedio en kWh de la casa estudiada. La inversión inicial permite observar que pasaría si el costo de la tecnología utilizada disminuye, ya que esto es lo que pasa con la tecnología con el paso del tiempo. La tasa de crecimiento y el precio inicial del kWh son factores que no pueden ser controlados por el usuario, pero que afectan la cantidad de dinero que se va a ahorrar al implementar el sistema. Estos datos pueden variar en caso de alguna crisis energética, escases de petróleo, o el descubrimiento de nuevas tecnologías que afecten el precio de la energía. El consumo de electricidad promedio es un factor importante, ya que si este aumenta será mayor el ahorro. Es importante mencionar que si la variación en el consumo es demasiada, el sistema estudiado puede ser insuficiente para cubrir la demanda de energía (kWh/mes) requerida por la casa. A continuación se muestra la tabla con los resultados del análisis de sensibilidad y una gráfica que permite observar cuales son los factores más significativos.

CUADRO 69: Análisis de sensibilidad bajo el criterio de periodo de recuperación

% de variación	-10%	-5%	0%	5%	10%
Inversión inicial	378.54	391.21	403.57	415.63	427.43
Tasa de crecimiento del precio del kWh	424.20	413.51	403.57	394.28	385.57
Precio kWh	411.43	407.47	403.57	399.70	395.89
Consumo promedio kWh	432.91	417.62	403.57	390.59	378.57

GRÁFICO 11: Análisis de sensibilidad



Se concluye que los factores que más influyen el periodo de recuperación de la inversión son la inversión inicial, el consumo promedio de la casa estudiada y la tasa de crecimiento del precio del kWh en la ciudad de Guatemala. Como se puede observar, la inversión inicial y el consumo promedio son los únicos factores que puede controlar el usuario. Esto se debe a que el usuario puede controlar su consumo energético y también decidir cuándo va a ser el momento adecuado para realizar la inversión, de acuerdo al costo de la de la tecnología utilizada. Los demás factores son regulados por el gobierno o compañías privadas como EEGSA, que modifican el costo del kWh de acuerdo a sus costos y otros factores que consideren necesarios.

Luego de realizar el estudio del periodo de recuperación de la inversión se plantearon tres posibles escenarios, cada uno con su respectiva probabilidad de ocurrencia. Los escenarios planteados son los siguientes:

CUADRO 70: Escenarios planteados

Datos de variaciones para cada escenario	Pesimista	Esperado	Optimista
Probabilidad	5%	65%	30%
Inversión inicial	5%	0%	-20%
Tasa de crecimiento del precio del kWh	-15%	0%	10%
Precio kWh	-10%	0%	10%

Como se puede observar hay un escenario pesimista, el esperado o actual y el optimista. Al pesimista se le dio una probabilidad de ocurrencia de 5%, ya que se está diciendo que la inversión inicial va a aumentar en un 5%, y que el precio inicial del kWh y su tasa de crecimiento van a disminuir en -15% y -10%, respectivamente. Esto es poco probable debido a que el precio de la energía se incrementa cada vez más y se tiene como evidencia el comportamiento del mismo en los últimos diez años. El escenario esperado es el más probable y es el escenario que se utilizó para realizar los estudios financieros presentados en este trabajo. El escenario optimista tiene una probabilidad de ocurrencia de 30% debido a que no se sabe con seguridad que tanto va a incrementar el precio inicial del kWh y la tasa de crecimiento. Los resultados obtenidos para cada escenario se presentan a continuación:

CUADRO 71: Resultados de los escenarios

Escenario	Periodo de recuperación	VPN de los flujos esperados
Pesimista	458.06	(Q2,227,967.13)
Esperado	403.57	(Q2,109,488.39)
Optimista	329.73	(Q1,666,494.58)

En conjunto, tomando en cuenta todos los escenarios, el proyecto posee una desviación estándar de Q 993,261.68 y un coeficiente de variación de 0.5. Entre más grande sea la desviación estándar y el coeficiente de variación, mayor será el riesgo de que el proyecto no se desarrolle de la manera esperada. Por lo tanto existe un riesgo de que la inversión no se vaya a recuperar en 403.57 trimestres. Hay que tomar en cuenta de que lo más probable es que el precio del kWh va a aumentar, volviendo el proyecto más rentable en este caso, como se observa en el escenario optimista.

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

- El biodigestor que mejor se adapta a la realidad económica, social y cultural de Guatemala por su costo y flexibilidad de construcción es el biodigestor de bolsa polimérica.
- Es rentable para una granja agropecuaria de cualquier tamaño y capacidad invertir en un sistema de generación de biogás que se utilice para sustituir a un combustible como la leña o el propano. Ya que las TIR obtenidas son mayores a la TMAR_i calculada.
- A medida que el tamaño del biodigestor aumenta su rentabilidad aumenta, sin embargo se debe de asegurar que es posible cubrir la demanda de excretas que el sistema requiere para funcionar.
- Al realizar un análisis financiero se debe tomar en cuenta la sensibilidad de la rentabilidad de un biodigestor a un cambio de precio en el combustible que se está reemplazando.
- Se debe mantener las condiciones generales alrededor de la planta para evitar que éstas tengan un efecto en la cantidad de biogás generado.
- Una inversión que tiene repercusión en muchos factores de una granja no puede ser estudiado únicamente por un análisis financiero, éste debe ser apoyado por un análisis de todos los factores no contables.
- Un sistema de generación de biogás puede mejorar la calidad de vida o de trabajo dentro de una granja aportando en factores como la higiene, el tiempo de trabajo y la mejora de los cultivos.
- El hidrógeno siendo el elemento más simple y abundante en el universo, es un portador de energía con un futuro prometedor y una alternativa para solucionar la crisis energética mundial, así como una posible forma de suministrar energía verde sin ningún tipo de contaminante.
- Técnicamente, los métodos de obtención de hidrógeno a partir de fuentes de energía renovables son posibles, pero la disponibilidad de tecnología en el mercado hace que el método de obtención de hidrógeno a partir de energía solar sea el más viable.

- La implementación de un sistema de hidrógeno solar en un residencial o proyecto de pequeña dimensión en la Ciudad de Guatemala conlleva una inversión inicial de aproximadamente dos millones de quetzales, con un periodo de recuperación estimado de cien años y once meses.
- Debido a que la inversión inicial para uno de estos sistemas es muy elevada y debido al periodo de recuperación tan extenso, no es factible invertir en el sistema de hidrógeno solar para proveer energía a residenciales o proyectos de pequeña dimensión en la Ciudad de Guatemala.
- Ecológicamente, el sistema de energía de hidrógeno solar resulta viable, ya que éste no genera ningún tipo de contaminación.
- La fermentación oscura es un método de producción de hidrógeno en vías de desarrollo, y considerando los estudios más recientes se concluye que al utilizar cultivos mixtos (desechos orgánicos) en vez de cultivos puros (cultivos de bacterias puras) se puede crear una mayor cantidad de hidrógeno químicamente para luego producir energía eléctrica.
- La maquinaria y equipo técnico para hacer un sistema de producción de hidrógeno a través de fermentación oscura es sumamente costoso ya que el equipo está compuesto de materiales especiales como acero inoxidable, paladio y platino para maniobrar el hidrógeno y convertirlo en energía eléctrica.
- Producir energía eléctrica utilizando las aguas residuales (desechos orgánicos) de industrias agrícolas es una nueva alternativa para producir energía limpia de una forma sostenible para el ahorro de electricidad en una fábrica o para un hogar mediano. Esto ayudaría mucho a la población de Guatemala ya que se está viendo un incremento en el costo de electricidad en el país. Lastimosamente el costo de un sistema de este tipo es demasiado alto para emprender un proyecto de esta índole.
- No es financieramente factible emprender un proyecto de producción de hidrógeno a través de fermentación oscura por su alto costo y el largo periodo de recuperación de la inversión.
- Todos la maquinaria y el equipo para construir un sistema de producción de hidrogeno a través de fermentación oscura puede no tener una cantidad de vida útil mayor a 61 años ocasionando costos adicionales conforme avance el proyecto.
- La variable más importante que afecta los flujos de efectivo es el precio de kWh que ofrece la empresa eléctrica. Un pequeño cambio afecta grandemente el retronó de la inversión.

C. Recomendaciones

- A los propietarios de granjas agropecuarias de Guatemala, analizar la inversión en un sistema de generación de biogás, que se adapte a su situación actual, tomando en cuenta su capacidad y limitantes, ya que esta puede generar beneficios económicos y de ambiente de trabajo.
- Analizar la posibilidad de generación de biogás, en plantas de aguas residuales residenciales e industriales, que pueda ser utilizado para generar energía a una escala mayor que la que se analiza en el presente trabajo.
- Estudiar la utilización del biogás como combustible para la utilización en vehículos y en maquinaria como combustible, tomando en cuenta los cambios necesarios en la maquinaria para el funcionamiento.
- Se recomienda al Gobierno de la República subsidiar sistemas de generación de biogás para pequeñas y medianas granjas agropecuarias del país ya que esto puede mejorar el funcionamiento de las mismas y ayudar al medio ambiente reduciendo el consumo de leña.
- Buscar otros proveedores analizando si estos pueden ofrecer características que mejoren el flujo de efectivo como costos menores o una mayor vida útil.
- A los usuarios de plantas generadoras de biogás, la venta del bioabono generado para percibir una ganancia extra de la que se presenta en estos flujos de efectivo.
- La contaminación proveniente del uso de los combustibles fósiles aumenta cada vez más, a pesar de que éstos son cada vez más escasos. Es por esto que se recomienda investigar ésta u otras alternativas de utilizar energía renovable para suplir la demanda mundial y así también evitar la contaminación del planeta. Se debe continuar investigando las posibles formas de obtener y utilizar el hidrógeno como portador de energía, ya que éstas aun están en la etapa de desarrollo y su precio en el mercado es demasiado alto. Es por esto que se recomienda invertir en un sistema de energía de hidrógeno solar cuando la tecnología y los componentes utilizados disminuyan de precio, ya que por el momento son demasiado caros.
- Es recomendable almacenar el hidrógeno como sólido, ya que esta forma hace que el sistema sea menos peligroso y ocupe menos espacio. Hay que tomar en cuenta que esta manera de almacenar hidrógeno es más cara que la que se utilizó para los estudios de este trabajo.

- La escasez de los derivados del petróleo influye sobre el precio de la energía, es por esto que se recomienda seguir la búsqueda de fuentes no dependientes del petróleo y así evitar la dependencia del mismo para la generación de energía.
- Se recomienda estar bien asesorado al momento de manipular hidrógeno, ya que es un gas bastante delicado y peligroso.
- Se deben realizar más pruebas en la cantidad de hidrógeno que pueden producir los distintos desechos orgánicos para determinar cuál es el más eficiente de todos para utilizar en el sistema de producción de energía eléctrica a través de fermentación oscura.
- Se recomienda no hacer un sistema de este tipo por el alto costo del equipo y se recomienda esperar que haya una disminución en los precios de los diferentes componentes del sistema para obtener el retorno de la inversión inicial en un periodo más corto.
- Encontrar una fuente de aguas residuales infinita en una fábrica industrial agrícola y tomar de las aguas residuales sin ningún costo alguno es la forma más viable para emprender este proyecto.
- Se recomienda acudir con personas profesionales para instalar este sistema, ya que el hidrógeno es un gas muy volátil y se debe manejar con mucha precaución.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Acohidrogeno. (2012). *Energía de hidrógeno*. Consulta en línea: <http://www.acohidrogeno.org/index.php?option=com_content&view=category&id=27&Itemid=55> [Consultado: 2 de Agosto del 2012]
- Alexander, M. (1961). *Introduction to Soil Microbiology*. Páginas de consulta: 227-231. [Consultado: 18 de Julio del 2012]
- Anónimo. (2012). *Energía renovable*. Consulta en línea: <http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable> [Consultado: 5 de mayo del 2012]
- Anónimo. (2012). *Energía*. Consulta en línea: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa>> [Consultado: 5 de mayo del 2012]
- Anónimo. (2012). *Fotólisis*. Consulta en línea: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Fot%C3%B3lisis>> [Consultado: 14 de Agosto del 2012]
- Anónimo. (2012). *Hidrógeno*. Consulta en línea: <<http://es.wikipedia.org/wiki/Hidr%C3%B3geno>> [Consultado: 5 de mayo del 2012]
- APROSC, Kathmandu; Gautam, K. M. (1988). *Impact Evaluation of the Asian Development Bank Assistance at Farm Level in Nepal- A Case Study on Biogas Plants*. [Consultado: 3 de Junio del 2012]
- Banco Centroamericano de integración Económica (BCIE). (N.d.). *Análisis del Mercado Guatemalteco de Energía Renovable*. 1ra. Edición. Consulta en línea: <<http://www.proyectoareca.org/uploaded/content/article/574668585.pdf>> [Consultado: 3 de Agosto del 2012]
- Bermúdez, J.M.; Vázquez, L. (1998). *El hidrógeno como el portador energético del futuro*. Consulta en línea: <<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia01/HTML/articulo13.htm>> [Consultado: 30 de Julio del 2012]
- Beteta, T. (1995). *Experiences with Plastic Tube Biodigesters in Colombia*. Universidad National Agraria, Managua, Nicaragua. [Consultado: 15 de julio del 2012]
- Biodisol. (N.d.). *Los Biocombustibles*. Consulta en línea: <<http://www.biodisol.com/que-son-los-biocombustibles-historia-produccion-noticias-y-articulos-biodiesel-energias-renovables/>> [Consultado: 1 de Agosto del 2012]
- BSP. (1994). *Mid-Term Evaluation of the Biogas Programme*. Consulta en línea: <http://www.snvworld.org/files/publications/review_of_bsp.pdf> [Consultado: 1 de Agosto del 2012]
- Bullis, Kevin. (2008). *Sun + Water = Fuel*. MIT. Massachusetts. Consulta en línea: <<http://www.technologyreview.com/featured-story/411023/sun-water-fuel/5/>> [Consultado: 23 de Junio del 2012]
- CNEA. (2012). *Ciclos termoquímicos*. Consulta en línea: <http://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/extras/actividades/2012/art_ciclos_term_rev_cnea> [Consultado: 11 de Junio del 2012]
- CNEE. (2012). *Comisión Nacional de Energía Eléctrica*. Guatemala. Consulta en línea: <<http://www.cnee.gob.gt/>> [Consultado: 12 de Febrero del 2012]
- de Castro, J. F.; Dhusha, J. H. M.; Opdam; B. B. Silwal. (1994). *Mid-Term Evaluation of the Biogas Support Programme*. [Consultado: 16 de Junio del 2012]

- Denbigh, K.G., Turner, J.C.R. (1990). *Introducción a la teoría de los reactores químicos*. Limusa. México. [Consulta: 25 de Enero del 2012]
- DYNA. (2012). *Fermentación Oscura*. Consulta en línea: <<http://www.revista.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/1723/11614>> [Consultado: 15 de Enero del 2012]
- East Consult. (1994). *Biogas Users Survey 1992/93*. Biogas Support Programme. [Consultado: 7 de Julio del 2012]
- EEGSA. (2012). *Empresa eléctrica de Guatemala, S.A.* Consulta en línea: <<http://www.eegsa.com/>> [Consultado: 12 de Febrero del 2012]
- ELGA. (2012). *B114 Deionizer*. Consulta en línea: <<https://store.elgalabwater.com/usa/catalogsearch/result/?q=b1r14>> [Consultado: 17 de Agosto del 2012]
- Empresa Microm Eléctrica. (2012). *Celdas de combustible*. Consulta en línea: (<http://www.microm.com.mx/ES/CeldasDeCombustible/Paginas/Celdascombustible.aspx>) [Consulta: 3 de Agosto del 2012]
- Empresa transnacional de producción de hidrógeno, CRYOINFRA. (2012). *Hidrogeno(H2)*. Consulta en línea: <<http://www.cryoinfra.com/old/productos-y-servicios/gases/hidrogeno>> [Consultado: 1 de Agosto del 2012]
- Frers, Cristian. (2008). *Factibilidad del hidrógeno como energía. ¿Qué es el hidrógeno?*. Consulta en línea: <<http://www.biodisol.com/biocombustibles/factibilidad-del-hidrogeno-como-energia-que-es-el-hidrogeno-energias-renovables-fuentes-de-energia-energias-alternativas/>> [Consultado: 3 de Febrero del 2012]
- Froment, G.F., Bischoff, K.B. (1990). *Chemical reactor analysis and design*. Wiley. New York. [Consultado: 25 de Enero del 2012]
- Fuel Cell Markets. (2012). *Electrolyzers*. Consulta en línea: <http://www.fuelcellmarkets.com/fuel_cell_markets/electrolysers/4,1,1,2223.html?FCMHome> [Consultado: 23 de Julio del 2012]
- Gittingcr, J. P. (1982). *Economic Analysis of Agricultural Projects, EDI Series in Economic Development, the World Bank, USA*. [Consultado: 7 de Julio del 2012]
- Henríquez Bruno. (1998). *El CIES*. Revista: Energía y Tu (2). [Consultado: 1 de Junio del 2012]
- IEAHIA. (2012). *Alkaline Electrolysis*. Consulta en línea: <Dirección web: <http://ieahia.org/pdfs/Task25/alkaline-electrolysis.pdf>> [Consultado: 9 de Agosto del 2012]
- Iglesias, C. y Wilson Soto. (1988). *Mecanización de los procesos Pecuarios II*. La Habana Cuba. [Consultado: 17 de Junio del 2012]
- J.A. Notas, J.A. Calles, J. Dufour, G. San Miguel. (2012). *La Economía del Hidrógeno-Una visión global sobre la revolución energética del siglo XXI*. Grupo de Ingeniería Química y Ambiental, Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología, Universidad Rey Juan Carlos. [Consulta: 3 de Agosto del 2012]
- Mathey, John. (2012). *Gas Purification Technology, HP series hydrogen purifiers*. Consulta en línea: <http://pureguard.net/Library/data_sheets/HPSeries2-150.pdf> [Consulta: 25 de Junio del 2012]
- Otero, Claudio. (N.d.) *Fuel Cells*. Consulta en línea: <http://www.claudio-otero.cl/fuel_cells/> [Consultado: 3 de Agosto del 2012]
- Prototectank, S.A. (2012). *Arrestadores de flama*. Consulta en línea: <<http://www.protototank.com.mx/equipos-para-tanques/arrestadores-de-flama>> [Consultado: 3 de Agosto del 2012]

- Puig, J. & Corominas, J. (1995). *La Ruta de la Energía*. Nueva Ciencia (S.L) 200p. [Consultado: 21 de Junio del 2012]
- Rubab, S. and T. C. Kandpal. (1996). A Methodology for Financial Evaluation of Biogas Technology in India Using Cost Functions, in *Biomass & Energy*. Vol. 10, No 1., ISSN 0961-9534 Elsevier Science Ltd., United Kingdom. [Consultado: 30 de Junio del 2012]
- Science School. (2012). *¿Hidrógeno: el vector de la energía verde del futuro?*. Consulta en línea: <<http://www.scienceinschool.org/2012/issue22/hydrogen/spanish>> [Consultado: 12 de Septiembre del 2012]
- Science School. (2012). *Hydrogen*. Consulta en línea: <<http://www.scienceinschool.org/2012/issue22/hydrogen/spanish>> [Consultado: 1 de Agosto del 2012]
- The Hydrogen Company. (2012). *Hydrogen*. Consulta en línea: <<http://www.thehydrogencompany.com/1/>> [Consultado: 3 de Agosto del 2012]
- The Inverter Store. (2012). *1000 Watt PURE Sine Power Inverter 12 Volt by AIMS*. Consulta en línea: <<http://www.theinverterstore.com/1000-watt-pure-sine-wave-inverter.html>> [Consultado: 4 de Agosto del 2012]
- U.S. Department of energy: Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE). (2012). *Fuel cell technologies program*. Estados Unidos de América. Consulta en línea: <<http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/>> [Consultado: 11 de Junio del 2012]

X. ANEXOS

A. Actividades rutinarias para el manejo y cuidado del biodigestor

Labores diarios

- Cargar el biodigestor con la cantidad adecuada de la mezcla de estiércol y agua.
- Retirar los materiales extraños (piedras, palos, pedazos de madera, material fibroso, metal o plástico) presentes tanto en el tanque de mezcla como en el canal de conducción.
- Revisar y suspender cualquier entrada excesiva de agua al biodigestor.
- Mantener cerradas las puertas o cualquier acceso que permita la entrada de animales o personas a las cercanías del biodigestor y revisar que el cerco o malla que lo rodea se encuentre intacto.
- Revisar si existen fugas de gas en la conducción.

Labores semanales

- Retirar el material flotante que se acumula en el tanque de mezcla y en el de salida.
- Retirar todo el material acumulado en el desarenador.
- Revisar el nivel del agua de la válvula de seguridad y corregirlo para que se mantenga a la altura definida.
- Revisar las posibles acumulaciones de agua en las partes más bajas de la conducción del gas.

Labores mensuales

- Revisar el estado del techo así como la cerca protectora del biodigestor y corregir o reparar cualquier irregularidad
- Quitar manualmente la maleza en los alrededores del biodigestor. No usar para la limpieza machetes, palas o guadañadoras en las cercanías.
- Revisar el estado el biodigestor con el fin de detectar rupturas y corregirlas.
- Revisar la conducción y detectar posibles fugas en las uniones de las mangueras, en especial junto a la válvula de seguridad o cualquier derivación que se haya hecho de la conducción principal.

B. Cartilla de instalación biodigestor de bolsa

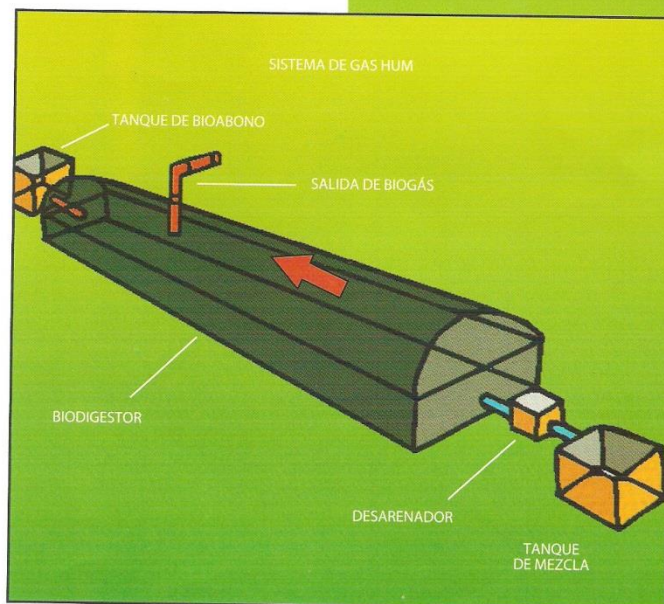
Sistema de Gas HUM Hágalo Usted Mismo

Es un método sencillo por medio del cual usted puede aprovechar los desechos orgánicos que producen los animales de su finca y convertirlos de una manera fácil en biogás para cocinar y obtener bioabono (abono orgánico, rico en elementos para las plantas como nitrógeno y fósforo) para sus cultivos, sin contaminar el medio ambiente y las fuentes de agua, disminuyendo así la tala de árboles.

Aproveche el estiércol de sus animales, si usted tiene una vaca, un caballo y cuatro cerdos, genera 40 kg de estiércol por día, es como si tuviera 4 horas continuas de gas por día y 120 litros de abono.

Partes del sistema:

- Tanque de mezcla.
- Desarenador.
- Biodigestor: de dimensiones 1m de diámetro x 10 m de largo.
- Tanque de salida para el bioabono.
- Salida para el biogás.
- Tuberías que conectan las partes del sistema.





MATERIALES NECESARIOS (NO INCLUIDOS EN EL KIT) PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA

Construcción del tanque de mezcla, desarenador y tanque de salida.	<ul style="list-style-type: none"> • Ladrillos o Bloques. • Cemento. • Arena.
Conexión del tanque de mezcla con el desarenador y el Biodigestor con el tanque de salida.	<ul style="list-style-type: none"> • 2 ml de Tubería sanitaria de PVC 6" o NOVAFORT 160 mm.
Conexión de la salida del gas del Biodigestor y la estufa.	<ul style="list-style-type: none"> • 2 ml de Tubería de PVC PRESION de 1". • 1 codo de PVC 1". • 1 Adaptador para hacer transición entre PVC y Polietileno 1". • Tubería de Polietileno (Manguera) de 1" (la longitud de esta Tubería varía en función de la distancia entre el Biodigestor y la cocina). • 1 ml de Tubería galvanizado o cobre de 1/2". • 1 Adaptador reductor para hacer transición entre la Tubería de polietileno y la Tubería de galvanizado o cobre de 1" x 1/2". • 1 llave de paso de 1/2". • 2 uniones de galvanizado o cobre 1/2". • 1 codo de galvanizado o cobre 1/2". • Limpiador y Soldadura de PVC. • 2 correas en neumático usado de aproximadamente 5 cm de ancho por 2 m de largo.
Elaboración de la válvula de seguridad.	<ul style="list-style-type: none"> • 1 "T" de PVC de 1". • 2 tubos de PVC de 1" de 10 cm de largo. • 1 tubo de PVC de 1" de 20 cm de largo. • 1 botella plástica de 2 litros. • Limpiador y Soldadura de PVC.
Construcción de una estufa de dos quemadores con tubería galvanizada de 1/2".	<ul style="list-style-type: none"> • 3 niples (tramos) de 20 cm. • 3 niples (tramos) de 10 cm. • 2 niples (tramos) de 5 cm. • 1 "T". • Dos llaves de paso.
Excavación.	<ul style="list-style-type: none"> • Picas. • Palas. • Nivel, etc.

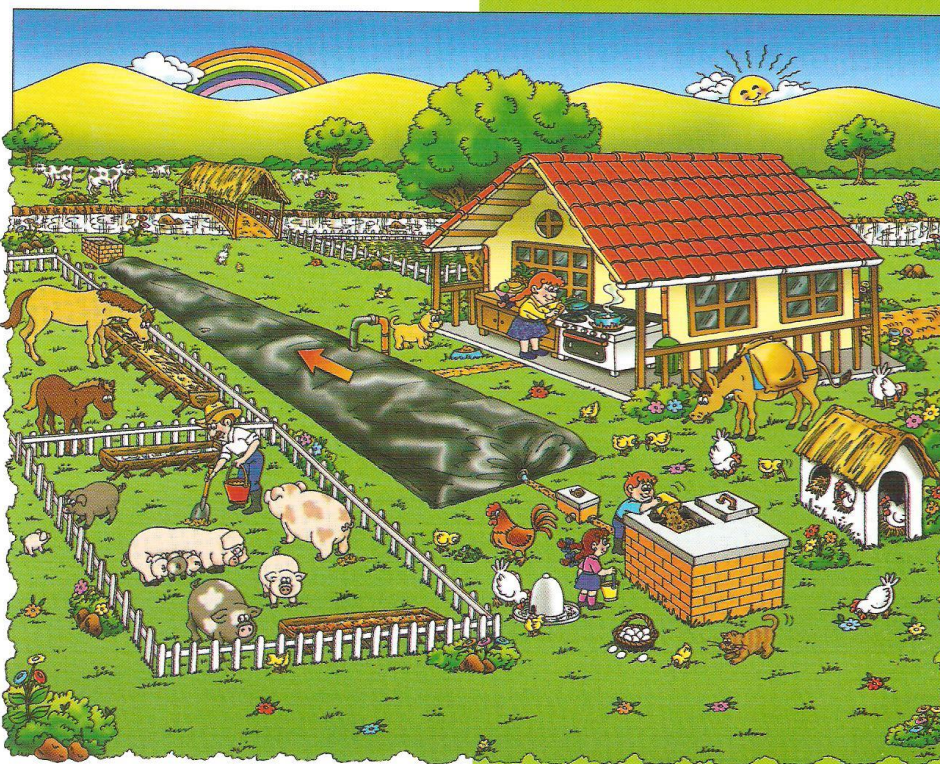
Sistema de Gas o Biodigestor

Pasos para la Instalación

Paso 1: Elija el lugar

El primer paso antes de instalar el Biodigestor es identificar la ubicación más adecuada con dirección norte a sur o viceversa para aprovechar óptimamente los rayos de sol. El Biodigestor debe quedar ubicado cerca de las instalaciones en donde se genera el estiércol, a un nivel que permita que lleguen a él por gravedad.

El sitio donde se ubique el Biodigestor debe ser un terreno firme que no tenga peligro de derrumbamiento. En zonas de topografía quebrada la fosa debe ubicarse a través de la pendiente.



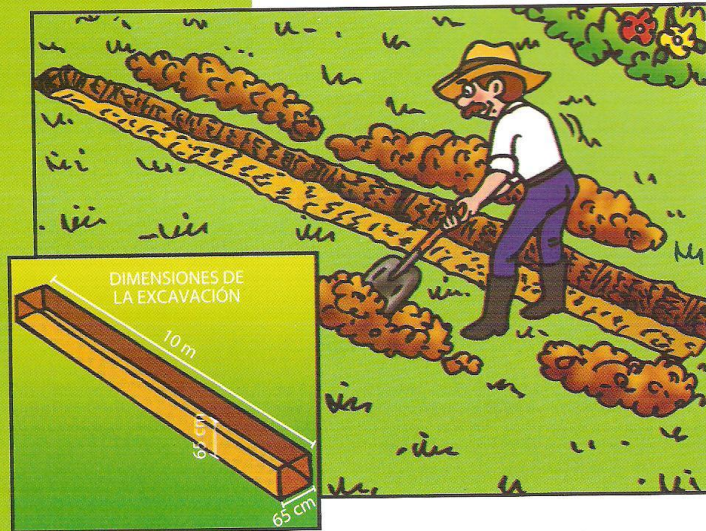
Nota:

Es una gran ventaja si el estiércol del corral puede ser escurrido a través de una canal mezclado con agua y hacer que llegue directamente al tanque de mezcla. Para ello, el sitio del Biodigestor debe estar por debajo de la vivienda y de las porquerizas o corrales para que el estiércol caiga directamente al tanque de mezcla (por gravedad).

Paso 2: Cave una fosa

Dimensiones:	Largo	: 10 m	(32.8")
	Ancho	: 65 cm	(25.6")
	Alto	: 65 cm	(25.6")

La fosa se construye con las paredes ligeramente inclinadas a fin de disminuir el riesgo de derrumbamiento, es necesario eliminar las piedras o raíces que sobresalgan en las paredes y que puedan romper el Biodigestor.



El fondo deberá tener una ligera pendiente (0.5%) para permitir el flujo continuo del estiércol líquido (purín) a lo largo del Biodigestor, debe estar nivelado. La tierra que se saca de la zanja deberá ser llevada lejos del Biodigestor para evitar algún daño.

A 20 cm (8") del borde, cave una zanja de 10 cm x 10 cm (4" x 4"), alrededor del Biodigestor, para recolectar las aguas lluvias y así evitar que caigan en la fosa del mismo.

Para proteger el Biodigestor de posibles daños, coloque el Geogro No Tejido en la fosa excavada anteriormente.

Paso 3: Construcción de los Tanques y el Desarenador

En cada extremo de la fosa del Biodigestor se debe hacer una excavación adicional para la instalación de los tanques de mezcla, Desarenador y tanque de salida. La función de estas cajas es servir de sello de agua para generar las condiciones anaerobias y evitar el escape del biogás.

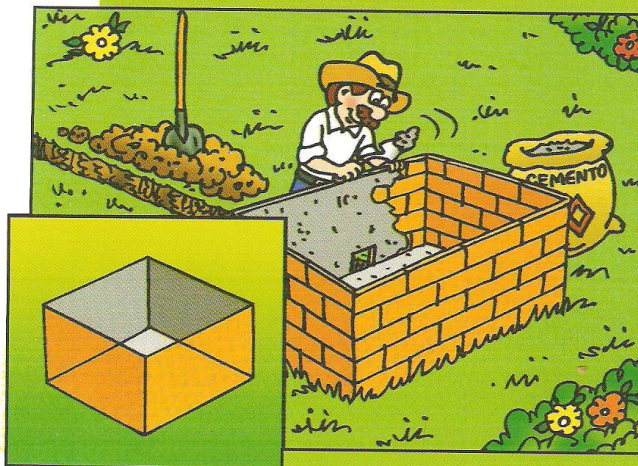
Tanque de mezcla

Las dimensiones del tanque de mezcla deben ser: 1 m x 1 m x 1 m (3.28" x 3.28" x 3.28") se puede construir en ladrillo recubierto con mortero por dentro.

Se recomienda cubrir o tapan este tanque para disminuir los malos olores.

Nota:

Este tanque se puede reemplazar con un tanque plástico con tapa, con una capacidad efectiva de mínimo 1.000 litros.



Desarenador

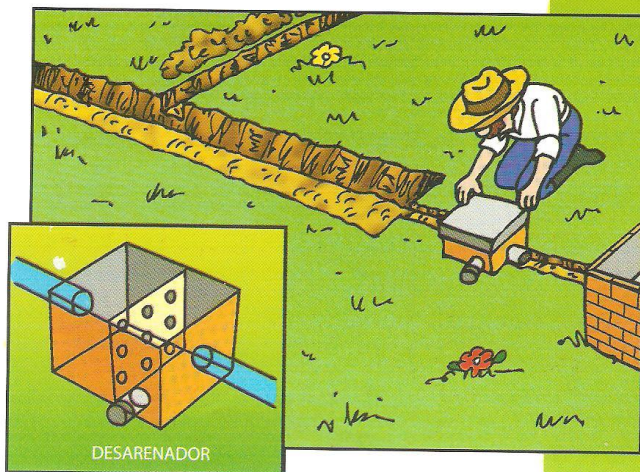
Esta caja se debe construir a 60 cm del tanque de mezcla, sus dimensiones son 30 cm x 30 cm x 30 cm (12" x 12" x 12"), en ladrillo recubierto con mortero por dentro.

A esta caja se le debe colocar internamente una lámina perforada en cualquier material, por ejemplo aluminio o acrílico, a manera de filtro para que se retengan elementos no generadores de gas, como arena, lodo.

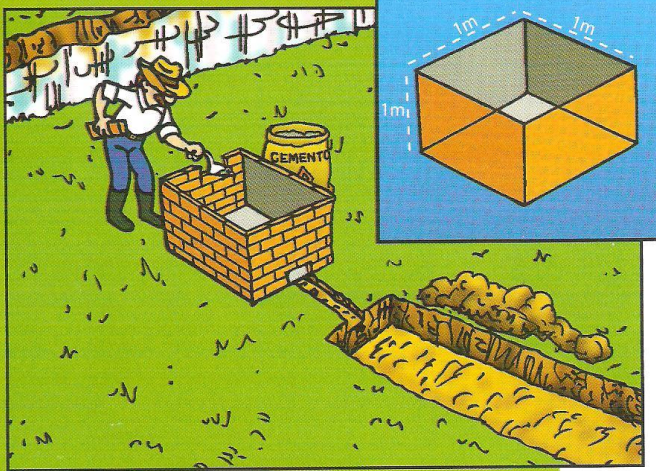
La función del desarenador es aumentar la vida útil del Biodigestor, ya que en él quedan atrapados todos los sólidos que no se alcanzan a disolver en la mezcla.

Nota:

El Desarenador puede ser reemplazado por una trampa de grasa prefabricada en polietileno de 70 litros.



MEDIDAS DEL TANQUE DE BIOABONO



Tanque de salida o almacenamiento del bioabono

Las dimensiones del tanque de salida deben ser: 1 m x 1 m x 1 m (3.28" x 3.28" x 3.28"). Se puede construir en ladrillo recubierto con mortero por dentro.

Tenga en cuenta que para esta dimensión el abono debe ser utilizado diariamente, de otra manera, éste se puede regar y perder, si lo quiere almacenar, debe aumentar el tamaño de este tanque.

Otra opción es conectar este tanque de bioabono directamente a los cultivos, así no tendrá que desocuparlo manualmente. (Conectarlo directamente al sistema de riego).

Nota:

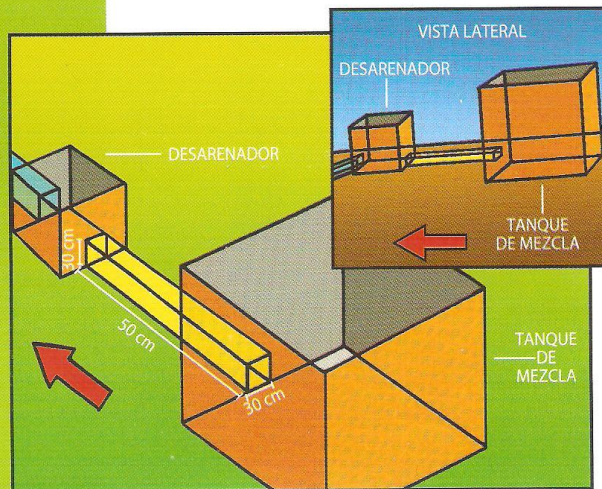
Este tanque también puede ser remplazado por un tanque plástico con una capacidad efectiva mínima de 1.000 litros.

Paso 4: Conexiones

Entre el Tanque de mezcla y el Desarenador

La distancia entre el tanque de mezcla y el Desarenador es de 50 cm (20"), se conectan a través de una Tubería de PVC sanitaria de 6" (o una Tubería Novafort de 160 mm), para lo cual se debe cavar una zanja de 30 cm de ancho x 30 cm de alto y 50 cm de longitud, (12" x 12" x 20"), con una ligera pendiente hacia el desarenador.

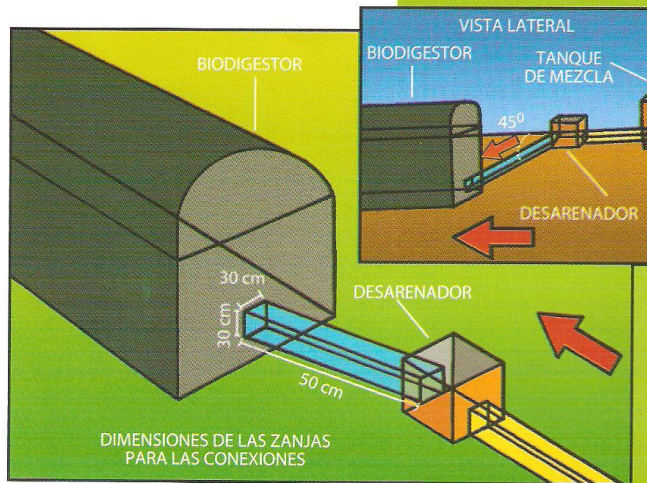
DIMENSIONES DE LAS ZANJAS PARA LAS CONEXIONES



Entre el Desarenador y el Biodigestor

La distancia entre el Desarenador y el Biodigestor es de 50 cm (20"), se conectan a través de una Tubería de PVC Sanitaria de 6" (o una Tubería Novafort de 160 mm), para lo cual se debe excavar una zanja de 30 cm de ancho x 30 cm de alto y 50 cm de longitud, (12" x 12" x 20") con ángulo de 45° hacia abajo.

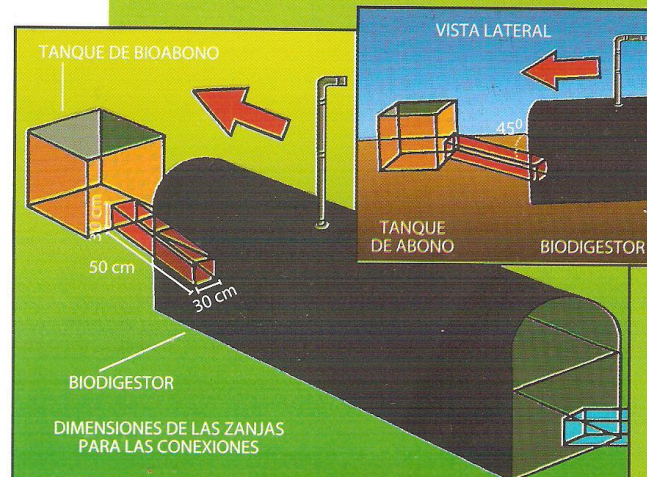
Esta tubería debe quedar a 20 cm del fondo del Biodigestor.



Entre el Biodigestor y el Tanque de salida

La distancia entre el Biodigestor y el Tanque de salida es de 50 cm (20"), se conectan a través de una tubería de PVC sanitaria de 6" (o una tubería Novafort de 160 mm), para lo cual se debe excavar una zanja de 30 cm de ancho x 30 cm de alto y 50 cm de longitud, (12" x 12" x 20") con ángulo de 45° hacia arriba.

Esta tubería debe quedar a 30 cm del fondo del Biodigestor.





Paso 5: Llenado con aire del Biodigester

Extienda el Biodigester sobre un piso firme, limpio, seco y sin piedras para no romperlo. Se aconseja hacerlo en un espacio grande.

Antes de colocar el Biodigester en la zanja, es necesario llenarlo con aire; puede hacerlo con un compresor, con la tubería de escape de un tractor o con el exhosto de un vehículo, esta labor debe hacerse con precaución por el daño que se puede producir al Biodigester con el aire caliente.

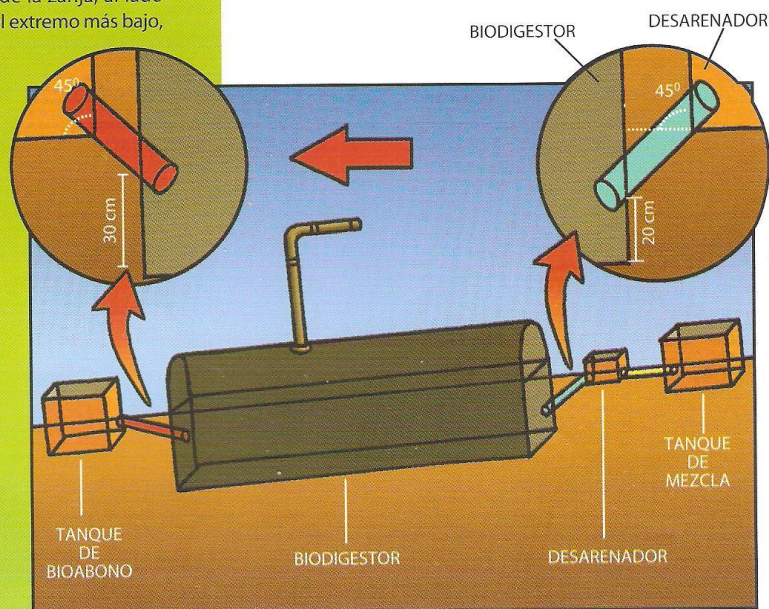
Antes de inflarlo se debe amarrar el otro extremo del Biodigester. Una vez lleno de aire, amarrar el extremo usado para su llenado. El objetivo del llenado con aire es permitir una mejor acomodación del Biodigester en la fosa, asegurando una correcta instalación.

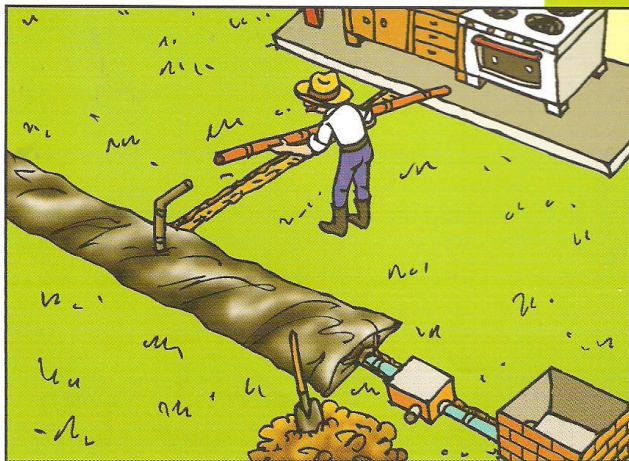
Paso 6: Instalación del Biodigester

Coloque el Biodigester con aire dentro de la zanja, revise que el tubo de salida para el biogás quede en la parte superior y verifique el sentido de flujo de acuerdo con la flecha, es decir, que la boca de entrada del Biodigester se encuentre en el extremo más alto de la zanja, al lado del Desarenador y la boca de salida en el extremo más bajo, al lado del tanque de salida.

Conecte la Tubería de PVC Sanitaria 6" o Novafort de 160 mm de entrada y salida al Biodigester:

Inserte los tubos de PVC Sanitaria 6" o Novafort de 160 mm dentro de las bocas del Biodigester, teniendo en cuenta que la tubería de entrada debe quedar a 20 cm del fondo y formando un ángulo de 45° hacia abajo y el de salida a 30 cm del fondo y formando un ángulo de 45° hacia arriba.





Pegue la tubería al Biodigestor con la soldadura de PVC, coloque la soldadura en la parte exterior de la tubería de PVC sanitaria 6" o Novafort de 160 mm y en la parte interna de las bocas del Biodigestor para garantizar hermeticidad.

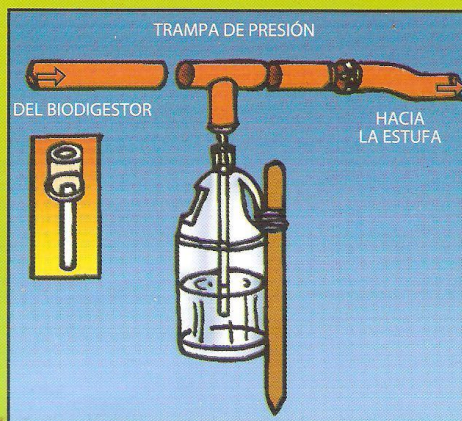
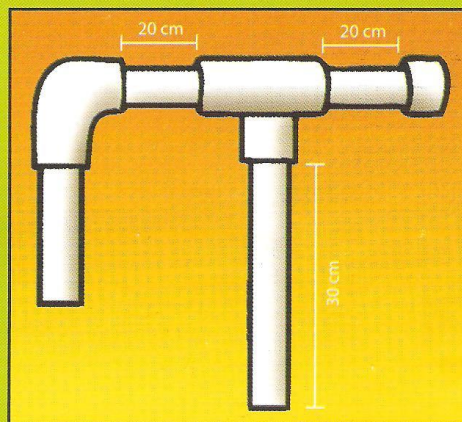
Una vez hecha la soldadura refuerce con las correas de neumático amarrando las bocas exteriormente.

Paso 7: Instalación de la Válvula de Seguridad o Trampa de Presión

La válvula de seguridad se coloca cerca del Biodigestor en la conducción que lleva el biogás hacia el sitio de consumo. Su función es formar un sello de agua que impide la salida del biogás en condiciones normales, pero que lo deja escapar cuando hay exceso de presión, evitando la ruptura del Biodigestor.

Procedimiento

Para su construcción se toma la "T" de PVC de 1" a la que se acoplan los dos niples de PVC de 20 cm a los lados y el niple de 30 cm hacia abajo. Luego se introduce el niple de mayor longitud en el envase plástico, 5 cm por encima del extremo de esta tubería se hacen agujeros en el envase para controlar el nivel del agua. Posteriormente se llena el envase con agua hasta los agujeros y se procede a asegurar el envase y la tubería en posición vertical con ayuda de un poste o soporte amarrándolo a la misma manguera de conducción. Al extremo de la tubería lateral de PVC se conecta la manguera que lleva el biogás al sitio de consumo.

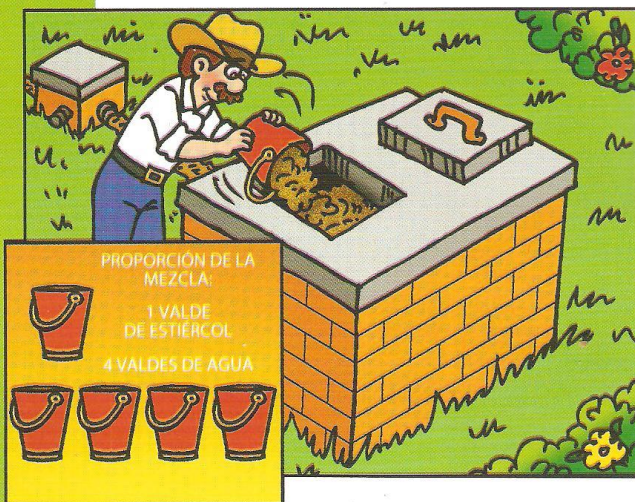


Paso 8: Alimentación del Biodigestor

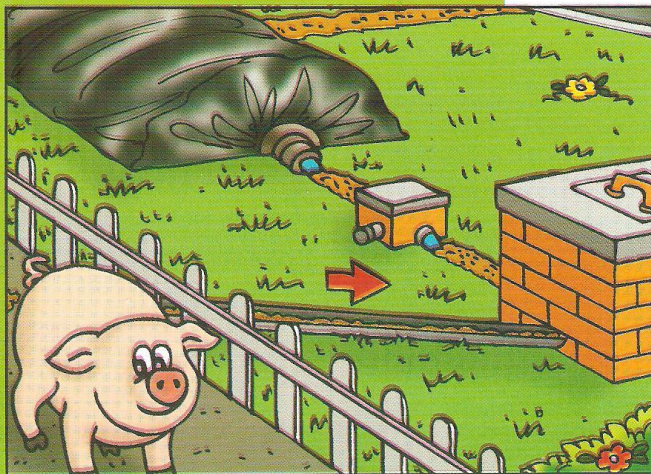
El Biodigestor necesita ser alimentado a diario en la mañana o en la tarde, preferiblemente a la misma hora. El estiércol debe mezclarse con agua antes de incorporarlo al Biodigestor; esta proporción debe ser 4 partes de agua por 1 (una) de estiércol, debe ir lo mas disuelta posible para mayor rendimiento del sistema.

Si en una finca se crían cerdos, los corrales pueden estar conectados directamente al Biodigestor de manera que al lavarlos, por medio de canales construidos especialmente, el estiércol líquido (purín) llegue directamente por gravedad al tanque de mezcla.

Si se utilizan sustancias empleadas para la desinfección de los corrales, éstas pueden afectar los organismos encargados de efectuar el proceso dentro del Biodigestor, en este caso se recomienda no usar esta mezcla.



Nota:
Cuide que no entren elementos extraños como piedras, huesos u otro tipo de elementos que puedan dañar o afectar el buen funcionamiento del Biodigestor.



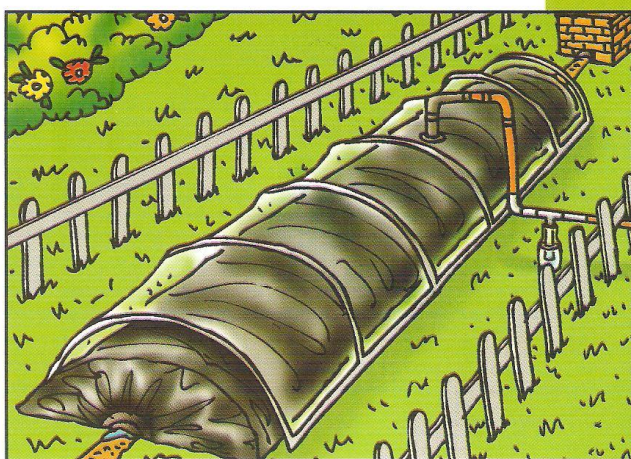
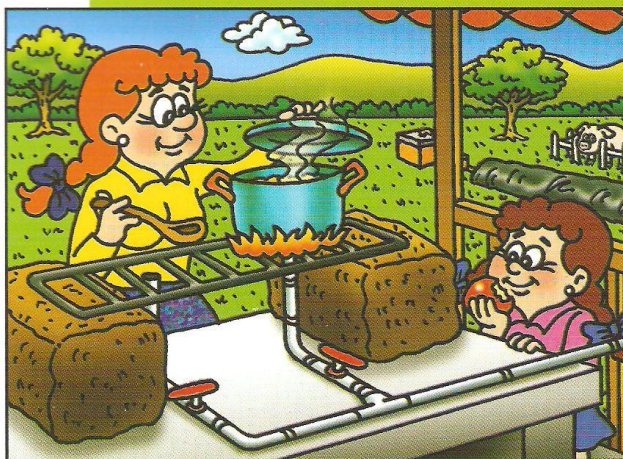
Paso 9: Construcción de la estufa

La construcción se realiza de una manera muy sencilla, como se muestra en el esquema, utilizando la Tubería y accesorios galvanizados de 1/2".

Paso 10: Proteja el Biodigestor

El Biodigestor debe ser protegido mediante una cerca que impida el ingreso de toda clase de animales y evite su caída sobre él. Esta cerca es igualmente útil para evitar la caída de personas, especialmente niños, en los tanques de entrada o salida del Biodigestor.

Adicionalmente, es importante colocar un techo con el fin de prolongar su vida útil disminuyendo el impacto de los rayos solares. Además, este techo lo protege de la caída de objetos o ramas que puedan romperlo. En climas fríos, esta protección genera un microclima cuando se baja la temperatura ya que esto puede alterar su funcionamiento.



En zonas pendientes es aconsejable hacer zanjas alrededor de la fosa con el fin de evitar que ésta se llene con aguas lluvias.

En época de lluvia tape la entrada y salida del Biodigestor, para evitar que penetre agua que dañe la mezcla de agua y estiércol.

No permita que el Biodigestor sea chuzado. Aleje cualquier elemento que pueda cortarlo. Protéjalo del vandalismo.

El Biodigestor se puede limpiar con una mezcla de agua jabonosa. No limpiar con combustible, acetona, varsol, ni ningún tipo de solvente.

C. Flujo de efectivo biodigestor de bolsa polimérica a 30 años

		Año									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Beneficios	Ahorro en leña	Q1,360.80	Q1,464.22	Q1,575.50	Q1,695.24	Q1,824.08	Q1,962.71	Q2,111.87	Q2,272.38	Q2,445.08	Q2,630.90
	Inversión	Q5,000.00									
	Operación	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00
Costos	Mantenimiento	Q300.00	Q322.80	Q347.33	Q373.73	Q402.13	Q432.70	Q465.58	Q500.96	Q539.04	Q580.00
	Total anual	-Q4,039.20	Q1,041.42	Q1,128.17	Q1,221.51	Q1,321.94	Q1,430.01	Q1,546.29	Q1,671.41	Q1,806.04	Q1,950.90
		TIR 29%									
		VPN Q24,038.97									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Q2,830.85	Q3,046.00	Q3,277.49	Q3,526.58	Q3,794.60	Q4,082.99	Q4,393.30	Q4,727.19	Q5,086.45	Q5,473.03		
Q10,401.42											
Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00		
Q624.09	Q671.52	Q722.55	Q777.46	Q836.55	Q900.13	Q968.54	Q1,042.15	Q1,121.35	Q1,206.58		
-Q8,294.66	Q2,274.48	Q2,454.94	Q2,649.12	Q2,858.05	Q3,082.86	Q3,324.76	Q3,585.04	Q3,865.10	Q4,166.45		
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
Q5,888.98	Q6,336.54	Q6,818.11	Q7,336.29	Q7,893.85	Q8,493.78	Q9,139.31	Q9,833.90	Q10,581.27	Q11,385.45		
Q21,637.92											
Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00		
Q1,298.27	Q1,396.94	Q1,503.11	Q1,617.35	Q1,740.27	Q1,872.53	Q2,014.84	Q2,167.97	Q2,332.73	Q2,510.02		
-											
Q17,147.22	Q4,839.59	Q5,215.00	Q5,618.94	Q6,053.58	Q6,521.25	Q7,024.47	Q7,565.93	Q8,148.54	Q8,775.43		


D. Flujo de efectivo biodigestor de Deenbandhu a 30 años

		Año									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Beneficios	Ahorro en leña	Q1,360.80	Q1,464.22	Q1,575.50	Q1,695.24	Q1,824.08	Q1,962.71	Q2,111.87	Q2,272.38	Q2,445.08	Q2,630.90
	Inversión	Q8,000.00									
	Operación	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00
Costos	Mantenimiento	Q450.00	Q484.20	Q521.00	Q560.60	Q603.20	Q649.04	Q698.37	Q751.45	Q808.56	Q870.01
		-									
	Total anual	Q7,189.20	Q880.02	Q954.50	Q1,034.64	Q1,120.88	Q1,213.66	Q1,313.50	Q1,420.93	Q1,536.52	Q1,660.90

		TIR 16%			VPN Q17,785.75				
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Q2,830.85	Q3,046.00	Q3,277.49	Q3,526.58	Q3,794.60	Q4,082.99	Q4,393.30	Q4,727.19	Q5,086.45	Q5,473.03
					Q24,003.47				
Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00
Q936.13	Q1,007.27	Q1,083.83	Q1,166.20	Q1,254.83	Q1,350.20	Q1,452.81	Q1,563.22	Q1,682.03	Q1,809.86
Q1,794.72	Q1,938.72	Q2,093.66	Q2,260.38	Q2,439.77	Q21,370.68	Q2,840.49	Q3,063.96	Q3,304.43	Q3,563.16


21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Q5,888.98	Q6,336.54	Q6,818.11	Q7,336.29	Q7,893.85	Q8,493.78	Q9,139.31	Q9,833.90	Q10,581.27	Q11,385.45
Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00	Q100.00
Q1,947.41	Q2,095.42	Q2,254.67	Q2,426.02	Q2,610.40	Q2,808.79	Q3,022.26	Q3,251.95	Q3,499.10	Q3,765.03
Q3,841.56	Q4,141.12	Q4,463.45	Q4,810.27	Q5,183.45	Q5,584.99	Q6,017.05	Q6,481.95	Q6,982.17	Q7,520.42

E. Formulario para autoproducer (EEGSA)

 <p>Empresa Eléctrica de Guatemala</p>	Departamento de Atención al Cliente	
Firma del solicitante: _____		
<p>FORMULARIO PARA QUE LOS USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTES DE ENERGÍA LE INFORMEN AL DISTRIBUIDOR SOBRE LAS INSTALACIONES DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE DENTRO DE SUS INSTALACIONES DE CONSUMO</p>		
1. Datos generales del usuario:		
Nombre del usuario o representante legal: _____		
Razón social de la empresa o entidad: _____		
Dirección: _____		
Municipio: _____	Departamento: _____	
Teléfono: _____	Fax: _____	
Correo electrónico: _____		
Número de identificación del usuario ante el distribuidor: _____		
2. Datos generales del proyecto:		
2.1 Fuente de energía renovable: (marque la (s) que corresponda (n):		
<input type="checkbox"/> Hidráulica	<input type="checkbox"/> Eólica	<input type="checkbox"/> Biomasa
<input type="checkbox"/> Solar	<input type="checkbox"/> Geotérmica	<input type="checkbox"/> Otra _____
2.2 Especificaciones técnicas:		
Número de unidades generadoras: _____	Potencia total instalada: _____ kW	
2.3 Medios de protección, control y desconexión automática <input type="checkbox"/> Sí		
Favor describir las características: _____		

<p>Manifiesto que NO deseo participar como vendedor de energía eléctrica y atentamente solicito el suministro e instalación del medidor bidireccional respectivo. (En el caso de usuarios regulados, el suministro e instalación del medidor respectivo lo cubrirá el distribuidor; mientras que los grandes usuarios son responsables de su sistema de medición).</p>		
Lugar y fecha: _____		
Firma del usuario: _____		
Distribución gratuita	Formulario autorizado por CNEE según Resolución CNEE No. 171-2008	

F. Guía para usuarios auto productores con excedentes de energía (CNEE) – Resolución 171-2008

	COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEPARTAMENTO DE NORMAS Y ESTUDIOS ELÉCTRICOS
GUÍA PARA EL INTERESADO USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTES DE ENERGÍA (Resolución CNEE 171-2008)	
Formulario para que los usuarios autoprodutores con excedentes de energía le informen al Distribuidor sobre las instalaciones de generación distribuida renovable dentro de sus instalaciones de consumo	El formulario para Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía se puede obtener de 2 formas <ol style="list-style-type: none"> 1. En las oficinas comerciales del Distribuidor de Energía Eléctrica. 2. Descargarlo de la página web de la CNEE www.cnee.gob.gt/Normas <ul style="list-style-type: none"> • Seleccione Autoprodutor/Formulario EEGSA si su proyecto está en el área de distribución de Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. (departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla), • Seleccione Autoprodutor/Formulario DEOCSA si su proyecto está en el área de distribución de Distribuidora de Electricidad de Occidente S.A. –DEOCSA- (departamentos de Huehuetenango, Quiché, Quetzaltenango, San Marcos, Totonicapán, Retalhuleu, Suchitepéquez, Sololá, Chimaltenango). • Seleccione Autoprodutor/Formulario DEORSA si su proyecto está en el área de distribución de Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A. –DEORSA- (departamentos de Petén, Alta Verapaz, Baja Verapaz, Izabal, Chiquimula, Zacapa, Jalapa, Jutiapa, Santa Rosa, El Progreso).
Información del formulario	El formulario está compuesto de 2 ítems. <ol style="list-style-type: none"> 1. Datos Generales del usuario 2. Datos generales del proyecto
1. Datos generales del usuario:	
Nombre del usuario o representante legal:	Si es persona individual indicar el nombre completo del propietario, si es persona jurídica indicar el nombre completo del representante legal.
Razón social de la entidad:	Si es persona individual indicar el nombre del propietario, si es persona jurídica indicar el nombre de la entidad.
Dirección:	Indicar la dirección del propietario ó representante legal, para recibir notificaciones incluyendo el Municipio y Departamento.
Municipio:	
Departamento:	
Teléfono:	Indicar un número telefónico para contactar al interesado.
Fax:	Indicar un número de Fax para contactar al interesado.
Correo Electrónico:	Indicar la dirección de un correo electrónico para contactar al interesado.
Número de identificación del usuario ante el Distribuidor	Si es usuario de EEGSA, coloque aquí el número de CORRELATIVO que aparece en su factura por servicios de electricidad. Si es usuario de DEORSA ó DEOCSA, coloque aquí el número de NIS que aparece en su factura por servicios de electricidad.

2. Datos generales del proyecto	
2.1 Fuente de energía renovable (marque las que correspondan)	<input type="checkbox"/> Hidráulica <input type="checkbox"/> Eólica <input type="checkbox"/> Biomasa <input type="checkbox"/> Solar <input type="checkbox"/> Geotérmica <input type="checkbox"/> Otra _____ Marcar con una equis <input checked="" type="checkbox"/> dentro del cuadro que corresponda a la(s) tecnología(s) de energía renovable de su proyecto. Si es una fuente de energía renovable diferente a las indicadas, amplíe información en donde dice "Otra _____"
2.2 Especificaciones técnicas	
Número de unidades Generadoras:	Indicar el número total de unidades generadoras que conforman su proyecto.
Potencia total instalada:	Indique la suma total en kilovatios (kW) de las unidades generadoras que conforman su proyecto.
2.3 Medios de protección, control y desconexión automática.	La Resolución CNEE 171-2008 que emite LA NORMA TECNICA PARA LA CONEXIÓN, OPERACIÓN, CONTROL Y COMERCIALIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE –NTGDR- Y USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTES DE ENERGÍA, establece en el artículo 35 que se deberán instalar los medios de protección, control y desconexión automática apropiados que garanticen que no podrán inyectar energía eléctrica al sistema de distribución ante fallas de éste o cuando el voltaje de la red de distribución se encuentre fuera de las tolerancias establecidas en las NTSD, por consiguiente se debe marcar una "X" en el cuadro que dice Si, y a continuación se debe describir las características de los medios de protección, control y desconexión.
Lugar y Fecha:	Lugar y fecha de la presentación del formulario ante el Distribuidor.
Firma del solicitante:	Firma del propietario del proyecto o del Representante Legal, según corresponda.

G. Cotización e información de hidrógeno proporcionada por Productos del Aire, S.A.

		DEPARTAMENTO DE INSTALACIONES 41 Calle 6-27, Zona 8 Ciudad, Guatemala Tel: (502) 24210400 ext. 207 Fax: (502) 24210400 ext. 349 instalaciones@fabrigas.com	
		PROFORMA P0030-DI-12	
Guatemala, 21 de Septiembre de 2012.			
Nombre: _____ Dirección: _____ Teléfono: _____ Atención: _____		Condiciones de la Oferta Vigencia de precios: <u>30 días hábiles</u> Forma de pago: <u>Orden de Compra</u> Tiempo de entrega: <u>1 Semana para instalación de Tubería</u> <u>3 Semanas para dispositivos</u>	
CANT.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	TOTAL
	INSTALACION DE RED PARA DISTRIBUCION DE HIDROGENO		
*	Tubería de Acero Inoxidable SCH-40 sin costura diámetro de 1/2" con accesorios Acero Inoxidable SCH-40 soldables, todo Soldadas con proceso TIG + material de aporte + cámara de gas Argon.	Q 4,845.12	Q 4,845.12
	La instalación Incluye		
3	Valvulas de Acero Inoxidable de bola de dia. 1/2" en tres (03) piezas, dos (03) unidades con sus respectivos accesorios	Q 250.00	Q 750.00
1	Regulador Para Hidrogeno en linea	Q 4,079.56	Q 4,079.56
2	Valvulas de Cheque	Q 300.00	Q 600.00
2	Arrestador de flama en linea para Hidrogeno	Q 21,228.97	Q 42,457.94
*	Transporte, Instalación y pruebas de funcionamiento.	Q 3,007.00	Q 3,007.00
	Nota: Todo trabajo Civil, Hidraulico y Electrico corre por cuenta del Cliente.		
		SUB-TOTAL	Q 55,739.62
		IVA (12%)	Q 6,688.75
		TOTAL	Q 62,428.37
OBSERVACIONES: SI DESEA AUTORIZAR LA PRESENTE PROFORMA, FAVOR ENVIARLA FIRMADA Y SELLADA AL FAX No. 2421-0400 ext. 349			
Atentamente,			
Ing. Edgar Illescas Gerente Departamento de Instalaciones			

Versión 01-2004-AGE, de fecha 1 de julio de 2004

ESPECIFICACIONES DE PRODUCTO (TDS TECHNICAL DATA SHEET)

Hidrógeno

1. Identificación de la Empresa

1.1	Nombre de la empresa:	Productos del Aire de Guatemala, S. A. - Fabrigas, S. A.
1.2	Dirección de la empresa:	41 Calle 6-27 zona 8, 01008 Guatemala
1.3	Teléfono y Fax:	(502) 2421 0400, (502) 2440 9666
1.4	Teléfono de Emergencia:	1-801-OXIGENO, 1-801-6944366
1.5	Página Web:	www.fabrigas.com

2. Identificación del Producto

2.1	Código del Producto:	10901001
2.2	Nombre del Producto:	Hidrógeno
2.3	Indicación del nombre:	Hidrógeno para diferentes usos industriales y alimenticios
2.4	Nombre Químico:	Hidrógeno
2.5	Fórmula Química condensada:	H ₂
2.6	Nombre DOT ^(I) :	Hidrógeno comprimido
2.7	Número CAS ^(II) :	1333-74-0
2.8	Número UN ^(III) :	UN1049
2.9	Grado de Pureza:	3.6
2.10	Composición Hidrógeno (H ₂)	min 99.96 %

^(I) Department of Transportation of United States of America (Nombre usual para efectos de transporte)

^(II) Chemical Abstracts Service (Número de Identificación Internacional del material de acuerdo al Servicio de Resúmenes Químicos)

^(III) United Nations (Número de Identificación establecido por la Organización de las Naciones Unidas)

3. Propiedades Físicas

3.1	Estado natural, apariencia, olor:	Gas incoloro e inodoro	Gas incoloro e inodoro	
3.2	Peso Molecular:	2.0158 g/mol		
3.3	Densidad del gas:	0.0834 Kg/m ³	0.00521 lb/cf	a 21.1 °C ó 70 °F y 1 atm
3.4	Densidad del líquido:	68.6 Kg/m ³	4.28 lb/cf	en el punto de ebullición
3.5	Gravedad Específica gas (Aire = 1)	0.0695	0.0695	a 0 °C ó 32 °F y 1 atm
3.6	Punto de Ebullición:	-252.7 °C	-423 °F	a 1 atm
3.7	Punto de Fusión:	-259.2 °C	-434.6 °F	a 1 atm
3.8	Solubilidad en agua (v/v):	0.019	0.019	a 15.6 °C ó 60 °F y 1 atm
3.9	Límites de inflamabilidad (aire)	4 a 74 %	4 a 74 %	a 1 atm
3.10	Límites de inflamabilidad (oxígeno)	4 a 96 %	4 a 96 %	a 1 atm
3.11	Temperatura de autoignición	571 °C	1060 °F	
3.12	Cociente Vgas/Vlíquido	845	845	

4. Identificación del Envase

4.1	Tipo de Cilindro:	Cilindro de alta presión HP200
4.2	Especificación DOT:	DOT-3AA-2265, DOT-3AA-2015
4.3	Material de fabricación:	Acero
4.4	Capacidad:	216 scf
4.5	Presión:	2200 psig
4.6	Válvula de conexión:	CGA-350
4.7	Color del Envase:	Rojo

H. Ejemplo de recibos de luz utilizados para el estudio energético

Reciba mensualmente copia de su factura por correo electrónico.
Envíe correlativo, número de contador y teléfono a facturacion@egsa@egsa.net
Consultas al 2277-7000 de Teleservicio

EEGSA
Grupo-egrs

EMPRESA ELECTRICA DE GUATEMALA, S.A.
C/A Avenida 8-14 Zona 1 Guatemala, C.A.
www.egsa.com
NIT 32544-5

Autorizado según resolución
No. 2002-1-1-54561 de 31/5/02
No. 2010-1-25-11560 de 05/11/10
BZ-1 al 60,000,000

TELESERVICIO LAS 24 HORAS TEL. 2277-7000

ARDON EDITA NIT: C/F
CARR. A EL SALVADOR KM. 13 CASA 6 HORTENC LUCES ZONA 0
SANTA CATARINA PINULA

Factura No. : BZ-010634144 Fecha de Emisión: 17/05/12
Contador : F43381 Cuenta : 811-37065-000
CORRELATIVO : 354538 Tarifa Vigente : May - Jul 12
Tarifa : B15 Baja Tensión Simple

Le hemos servido durante 30 días

Lectura Actual	Lectura Anterior	Feb:	Mar:	Abr:
17/05/12	86297	300 kWh	305 kWh	360 kWh

Detalle de cargos

Cargos	Precios	Consumos	Importe Q.
Cargo Fijo por Cliente (Sin IVA)	9.01266 Q/Usuario		9.02
Energía (Sin IVA)	1.960548 Q/kWh	344 kWh	674.46
Total Cargo (Sin IVA)			683.48
Total Cargo (Con IVA)			765.50
Tasa Municipal (Cobro por cta. de terceros)(Sin IVA)(10%)			60.35
TOTAL CARGOS DEL MES			833.85

CARGOS: Q. 591.26 GENERACION, Q. 166.37 IVA Y TASA, Q. 82.22 DISTRIBUCION

TOTAL A PAGAR 833.85

Si cancela después del 16/06/12 tendrá un recargo por mora de Q. 6.11.
Sujeto a pagos trimestrales (No retener ISR)
Agente de retención Dto. 20-2006 (No retener IVA)

EMPRESA ELECTRICA DE GUATEMALA, S.A. CERO PARA BANCO

Detalle	Saldo Anterior	Cargos del Mes	Total a Pagar
Total Carga Sin IVA	0.00	683.48	683.48
IVA (12%)	0.00	82.02	82.02
Tasa Municipal	0.00	66.35	66.35
Recargo por Mora	0.00	0.00	0.00
Totales	0.00	833.85	833.85

Correlativo: 354538 Ref. Bancos: BZ-010634144 Fecha de Emisión: 17/05/12

Reciba mensualmente copia de su factura por correo electrónico.
Envíe correlativo, número de contador y teléfono a facturacion@egsa@egsa.net
Consultas al 2277-7000 de Teleservicio

EEGSA
Grupo-egrs

EMPRESA ELECTRICA DE GUATEMALA, S.A.
C/A Avenida 8-14 Zona 1 Guatemala, C.A.
www.egsa.com
NIT 32544-5

Autorizado según resolución
No. 2002-1-1-54561 de 31/5/02
No. 2010-1-25-11560 de 05/11/10
BZ-1 al 60,000,000

TELESERVICIO LAS 24 HORAS TEL. 2277-7000

ARDON EDITA NIT: C/F
CARR. A EL SALVADOR KM. 13 CASA 6 HORTENC LUCES ZONA 0
SANTA CATARINA PINULA

Factura No. : BZ-013177161 Fecha de Emisión: 17/07/12
Contador : F43381 Cuenta : 811-37065-000
CORRELATIVO : 354538 Tarifa Vigente : May - Jul 12
Tarifa : B15 Baja Tensión Simple

Le hemos servido durante 32 días

Lectura Actual	Lectura Anterior	Abr:	May:	Jun:
17/07/12	86074	360 kWh	344 kWh	360 kWh

Detalle de cargos

Cargos	Precios	Consumos	Importe Q.
Cargo Fijo por Cliente (Sin IVA)	9.01266 Q/Usuario		9.02
Energía (Sin IVA)	1.960548 Q/kWh	409 kWh	801.91
Total Cargo (Sin IVA)			810.93
Total Cargo (Con IVA)			906.24
Tasa Municipal (Cobro por cta. de terceros)(Sin IVA)(10%)			81.09
TOTAL CARGOS DEL MES			989.33

CARGOS: Q. 702.98 GENERACION, Q. 176.40 IVA Y TASA, Q. 107.95 DISTRIBUCION

TOTAL A PAGAR 989.33

Si cancela después del 16/08/12 tendrá un recargo por mora de Q. 9.63.
Sujeto a pagos trimestrales (No retener ISR)
Agente de retención Dto. 20-2006 (No retener IVA)

EMPRESA ELECTRICA DE GUATEMALA, S.A. CERO PARA BANCO

Detalle	Saldo Anterior	Cargos del Mes	Total a Pagar
Total Carga Sin IVA	0.00	810.93	810.93
IVA (12%)	0.00	97.31	97.31
Tasa Municipal	0.00	81.09	81.09
Recargo por Mora	0.00	0.00	0.00
Totales	0.00	989.33	989.33

Correlativo: 354538 Ref. Bancos: BZ-013177161 Fecha de Emisión: 17/07/12

Pague su factura en INTERNET, desde la página de su banco
¡Es rápido, seguro y confiable!
Consultas al 2277-7000 de Teleservicio



EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.
5a Avenida 6-14 Zona 1 Guatemala, C.A.
www.eegsa.com
NIT 32644-5

Autorizado según resolución
No. 2002-1-1-64561 de 31/05/02
No. 2010-1-25-11560 de 05/11/10
B. 1 al 60,000,000

TELESERVICIO LAS 24 HORAS TEL. 2277-7000

ARON EDITA NIT: C/F
CARR. A EL SALVADOR KM. 13 CASA 6 HORTENC LUCES ZONA 0
SANTA CATARINA PINULA

Factura No. : BZ-014442055

Contador : F43361
CORRELATIVO : 354538
Tarifa : BTS Baja Tensión Simple

Fecha de Emisión: 17/08/12
Cuenta : 811-37865-000
Tarifa Vigente : Ago - Oct 12

Le hemos servido durante 31 días Historial de Consumo

Lectura Actual	Lectura Anterior	May	Jun	Jul
17/08/12 89438	17/07/12 89074	344 kWh	358 kWh	408 kWh

Detalle de cargos		Precios	Consumos	Importe Q.
Cargo Fijo por Cliente (Sin IVA)	9.124940 Q/Usuario			9.12
Energía (Sin IVA)	2.098612 Q/kWh	364 kWh		763.69
Total Cargo (Sin IVA)				773.01
Total Cargo (Con IVA)				865.77
Tasa Municipal (Cobro por cta. de terceros)(Sin IVA)(10%)				77.30
TOTAL CARGOS DEL MES				943.07

CARGOS: Q.674.71 GENERACION; Q.170.06 IVA Y TASA; Q.98.30 DISTRIBUCION

TOTAL A PAGAR 943.07

Si cancela después del 16/09/12 tendrá un recargo por mora de Q. 9.08.
Sujeto a pagos trimestrales (No retener ISR)
Agente de retención Dto. 20-2006 (No retener IVA)

EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A. ----- CODO PARA BANCO -----

Detalle	Saldo Anterior	Cargos del Mes	Total a Pagar
Total Cuota Sin IVA	0.00	773.01	773.01
IVA (12%)	0.00	92.76	92.76
Tasa Municipal	0.00	77.30	77.30
Recargo por Mora	0.00	0.00	0.00
Totales	0.00	943.07	943.07

Correlativo: 354538 Ref. Bancos: BZ-014442055 Fecha de Emisión: 17/08/12



Pague su factura en INTERNET, desde la página de su banco
¡Es rápido, seguro y confiable!
Consultas al 2277-7000 de Teleservicio



EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A.
5a Avenida 6-14 Zona 1 Guatemala, C.A.
www.eegsa.com
NIT 32644-5

Autorizado según resolución
No. 2002-1-1-64561 de 31/05/02
No. 2010-1-25-11560 de 05/11/10
BZ-1 al 60,000,000

TELESERVICIO LAS 24 HORAS TEL. 2277-7000

ARON EDITA NIT: C/F
CARR. A EL SALVADOR KM. 13 CASA 6 HORTENC LUCES ZONA 0
SANTA CATARINA PINULA

Factura No. : BZ-015702864

Contador : F43361
CORRELATIVO : 354538
Tarifa : BTS Baja Tensión Simple

Fecha de Emisión: 14/09/12
Cuenta : 811-37865-000
Tarifa Vigente : Ago - Oct 12

Le hemos servido durante 28 días Historial de Consumo

Lectura Actual	Lectura Anterior	Jun	Jul	Ago
14/09/12 89782	17/08/12 89438	368 kWh	409 kWh	364 kWh

Detalle de cargos		Precios	Consumos	Importe Q.
Cargo Fijo por Cliente (Sin IVA)	9.124940 Q/Usuario			9.12
Energía (Sin IVA)	2.098612 Q/kWh	344 kWh		721.92
Total Cargo (Sin IVA)				731.04
Total Cargo (Con IVA)				818.76
Tasa Municipal (Cobro por cta. de terceros)(Sin IVA)(10%)				73.10
TOTAL CARGOS DEL MES				891.86

CARGOS: Q.637.64 GENERACION; Q.160.82 IVA Y TASA; Q.93.40 DISTRIBUCION

TOTAL A PAGAR 891.86

Si cancela después del 14/10/12 tendrá un recargo por mora de Q. 8.60.
Sujeto a pagos trimestrales (No retener ISR)
Agente de retención Dto. 20-2006 (No retener IVA)

EMPRESA ELÉCTRICA DE GUATEMALA, S.A. ----- CODO PARA BANCO -----

Detalle	Saldo Anterior	Cargos del Mes	Total a Pagar
Total Cuota Sin IVA	0.00	731.04	731.04
IVA (12%)	0.00	87.72	87.72
Tasa Municipal	0.00	73.10	73.10
Recargo por Mora	0.00	0.00	0.00
Totales	0.00	891.86	891.86

Correlativo: 354538 Ref. Bancos: BZ-015702864 Fecha de Emisión: 14/09/12



I. Estadísticas de consumo proporcionadas por EEGSA



Sub-Gerencia Comercial
Departamento de Atención al Cliente
Unidad de Solicitudes y Telegestión

US&T-IC-388716-EQ-12
Ref.: EE-SOL-418068113

Historial de Consumo
Edita Ardón de Aldana
Correlativo 354538 Interlocutor 388716

Contador	Fecha	Lectura kWh	Consumo (kWh)	Días	Promedio
F-43381	14/09/2012	89,782	344	28	12
F-43381	17/08/2012	89,438	354	31	12
F-43381	17/07/2012	89,074	409	32	13
F-43381	15/06/2012	88,665	368	29	13
F-43381	17/05/2012	88,297	344	30	11
F-43381	17/04/2012	87,953	360	32	11
F-43381	16/03/2012	87,593	346	30	12
F-43381	15/02/2012	87,247	368	29	13
F-43381	17/01/2012	86,879	381	32	12
F-43381	16/12/2011	86,498	368	30	12
F-43381	16/11/2011	86,130	360	30	12
F-43381	17/10/2011	85,770	414	31	13
F-43381	16/09/2011	85,356	382	30	13
F-43381	17/08/2011	84,974	420	32	13
F-43381	16/07/2011	84,554	404	31	13
F-43381	15/06/2011	84,150	361	30	12
F-43381	16/05/2011	83,789	368	32	12
F-43381	14/04/2011	83,421	329	28	12
F-43381	17/03/2011	83,092	386	31	12
F-43381	14/02/2011	82,706	346	28	12
F-43381	17/01/2011	82,360	440	32	14
F-43381	16/12/2010	81,920	417	30	14
F-43381	16/11/2010	81,503	405	32	13
F-43381	15/10/2010	81,098	361	29	12
F-43381	16/09/2010	80,737	396	30	13
F-43381	17/08/2010	80,341	398	32	12
F-43381	16/07/2010	79,943	302	30	10
F-43381	16/06/2010	79,641	331	30	11
F-43381	17/05/2010	79,310	367	31	12
F-43381	16/04/2010	78,943	333	30	11
F-43381	17/03/2010	78,610	403	32	13
F-43381	13/02/2010	78,207	346	28	12
F-43381	16/01/2010	77,861	436	31	14
F-43381	16/12/2009	77,425	404	30	13
F-43381	16/11/2009	77,021	408	31	13
F-43381	16/10/2009	76,613	379	30	13
F-43381	16/09/2009	76,234	380	30	12
F-43381	17/08/2009	75,874	362	32	11
F-43381	16/07/2009	75,512	338	30	11
F-43381	16/06/2009	75,174	381	32	12
F-43381	15/05/2009	74,793	353	29	12
F-43381	16/04/2009	74,440	335	30	11
F-43381	17/03/2009	74,105	414	32	13

6a. Avenida 8-14, Zona 1 Guatemala, C. A.
PBX (502) 2420-4000 Fax (502) 2230-0658
Teleservicio 2277-7000 ~ www.eegsa.com



Sub-Gerencia Comercial
Departamento de Atención al Cliente
Unidad de Solicitudes y Telegestión

US&T-IC-388716-EQ-12
Ref.: EE-SOL-418068113

Contador	Fecha	Lectura kWh	Consumo (kWh)	Días	Promedio
F-43381	13/02/2009	73,691	375	28	13
F-43381	16/01/2009	73,316	468	31	15
F-43381	16/12/2008	72,848	376	31	12
F-43381	15/11/2008	72,472	463	30	15
F-43381	16/10/2008	72,009	426	30	14
F-43381	16/09/2008	71,583	464	31	15
F-43381	16/08/2008	71,119	456	31	15
F-43381	16/07/2008	70,663	458	30	15
F-43381	16/06/2008	70,205	443	31	14
F-43381	16/05/2008	69,762	491	31	16
F-43381	15/04/2008	69,271	480	32	15
F-43381	14/03/2008	68,791	480	29	17
F-43381	14/02/2008	68,311	525	28	19
F-43381	17/01/2008	67,786	438	31	14
F-43381	17/12/2007	67,348	642	32	20
F-43381	15/11/2007	66,706	595	28	21
F-43381	18/10/2007	66,111	634	30	21
F-43381	18/09/2007	65,477	637	31	21
F-43381	18/08/2007	64,840	636	31	20
F-43381	18/07/2007	64,205	612	30	20
F-43381	18/06/2007	63,593	591	31	19
F-43381	18/05/2007	63,002	555	30	19
F-43381	18/04/2007	62,447	575	32	18
F-43381	17/03/2007	61,872	600	31	19
F-43381	14/02/2007	61,272	567	28	20
F-43381	17/01/2007	60,705	673	32	21
F-43381	16/12/2006	60,032	739	30	25
F-43381	16/11/2006	59,293	632	30	21
F-43381	17/10/2006	58,661	668	29	23
F-43381	18/09/2006	57,993	691	32	22
F-43381	17/08/2006	57,302	683	30	23
F-43381	18/07/2006	56,619	712	32	22
F-43381	16/06/2006	55,907	715	30	24
F-43381	17/05/2006	55,192	664	29	23
F-43381	18/04/2006	54,528	718	32	22
F-43381	17/03/2006	53,810	728	31	23
F-43381	14/02/2006	53,082	631	28	23
F-43381	17/01/2006	52,451	806	32	25
F-43381	16/12/2005	51,645	775	30	26
F-43381	16/11/2005	50,870	725	32	23
F-43381	15/10/2005	50,145	750	31	24
F-43381	14/09/2005	49,395	691	29	24
F-43381	16/08/2005	48,704	693	32	22
F-43381	15/07/2005	48,011	686	30	23
F-43381	15/06/2005	47,325	689	30	23
F-43381	16/05/2005	46,636	728	32	23
F-43381	14/04/2005	45,910	704	31	23

6a. Avenida 8-14, Zona I Guatemala, C. A.
PBX (502) 2420-4000 Fax (502) 2230-0658
Teleservicio 2277-7000 ~ www.eegsa.com

J. Estadísticas energéticas proporcionadas por la CNEE

EEGSA

Baja Tensión Simple (BTS)

PERÍODO DE APLICACIÓN	Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	Cargo por Energía (Q/kWh)
Ago-Oct 02	7.24735	1.41297
Nov 02-Ene 03	7.24735	1.25909
Feb-Abr 03	7.38164	1.30280
May-Jul 03	7.38164	1.42467
Ago-Oct 03	7.38197	1.34704
Nov03- Ene04	7.38200	1.34799
Feb - Abr 04	7.38200	1.41711
May - Jul 04	7.38200	1.48867
Ago - Oct 04	7.98327	1.39434
Nov 04 - Ene 05	7.98327	1.42284
Feb-Abr 05	8.07728	1.42267
May-Jul 05	8.07728	1.42889
Ago-Oct 05	8.23234	1.68641
Nov 05-Ene06	8.23230	1.43260
Feb-Abr 06	8.40603	1.43258
May-Jul 06	8.40603	1.43177
Ago-Oct 06	8.61070	1.43840
Nov 06 - Ene 07	8.61070	1.43990
Feb-Abr 07	8.70116	1.44379
May-Jul 07	8.70116	1.37116
Ago-Oct 07	8.92600	1.39902
Nov 07 - Ene 08	8.92600	1.42862

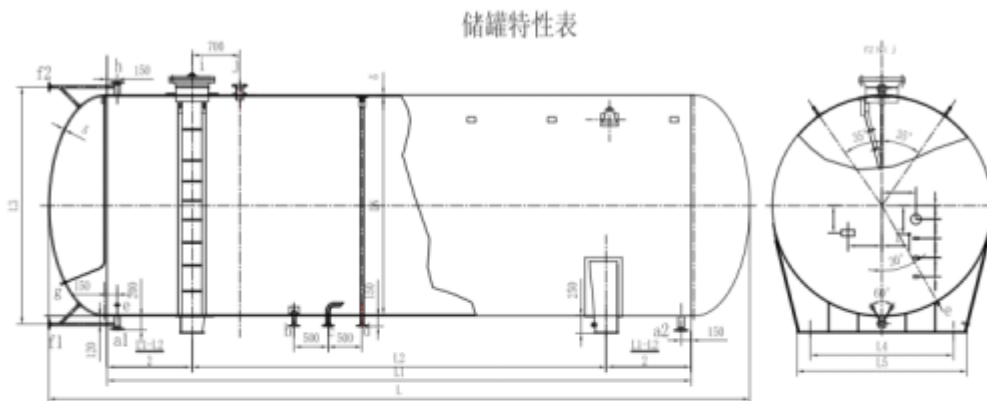
Feb-Abr 08	9.20240	1.43799
May-Jul 08	9.20240	1.64029
Ago-Oct 08	8.19385	1.68165
Nov 08 - Ene 09	8.19385	1.54981
Feb-Abr 09	8.37442	1.33530
May-Jul 09	8.37442	1.23500
Ago-Oct 09	8.45360	1.37838
Nov 09 - Ene 10	8.45360	1.46378
Feb-Abr 10	8.57522	1.76935
May-Jul 10	8.57522	1.94378
Ago-Oct 10	8.62801	1.74828
Nov 10 - Ene 11	8.62801	1.59781
Feb-Abr 11	8.73934	1.57419
May-Jul 11	8.73934	1.72058
Ago-Oct 11	8.88934	1.92814
Nov 11 - Ene 12	8.88934	1.84891
Feb-Abr 12	9.01736	1.82953
May-Jul 12	9.01736	1.96065
Ago-Oct 12	9.12494	2.09861

PERÍODO DE APLICACIÓN	Tasa Municipal (%)
Hasta el 31-May-2009	10%
01-Jun-2009 a la fecha	13%

K. Cotización de los tanques de hidrógeno

50m³ LPG Storage Tank

LPG storage tank Detailed technical parameters



2.1 design parameter	filling medium : LPG; design pressure: 1.77MPa; design temperture: Max 60°C, Min -20°C. corrosion allowance: 1mm; Medium density: 420kg/m ³	
1	volume m ³	50
2	nominal diameter DN	2400
3	barrel thickness (mm)	13
4	gland thickness (mm)	13
5	tank weight (kg)	7090
6	filling weight (kg)	12911
7	overall size L*W*H(mm)	7508×2426×3050
8	Distance between the saddles L2(mm)	5000
9	Distance between the liquidometer L3(mm)	2640
10	length of barrel straight reach(mm)	6200
11	pitch-row of Saddle installation L4(mm)	1520
12	length of saddle baseboard L5(mm)	1720

- ◇ storage tank valve is "Chengkong" brand high quality cryogenic valves, Chengdou "Lanshi" liquidometer and Domestic high-quality pressure gauge
- ◇ liquid in and out mouth is double valve control (quick action emergency valve and shutoff valve are Combination)
- ◇ high quality Acrylic polyurethane paint

price and delivery

price

equipment name	specification	FOB Shanghai price
LPG storage tank	50m ³	USD18890

delivery

Delivery of this storage tank is within 40 days (we got your advance payment) since execution of contract

payment

- ◇ Advance payment is 30%, the contract valid since we get your advance payment, payment: TT.

Before the equipment leave the factory, you need pay the 70% residual payment by TT.

contact information

Company : Suizhou Hongxin special Automobile Co., LTD
 Add : South Suburb, Chengli Automobile industrial park, Suizhou City, Hubei Province, China
 Sales Manager: Sharon Wang
 Website: www.clq55.com
 Tel: 86-722-3825876
 MB: 86-0-15671796220
 Fax: 86-0722-3806559
 Email: clqc55@163.com hxzq55@yahoo.com.cn
 MSN: clqc55@hotmail.com
 Skype: wxm0126

L. Cotización de paneles solares fotovoltaicos

Simulador Ecosun Micro Tarántula



Guatemala, 14/09/2012

Sr. Steve Aldana

Presente

El siguiente documento es una simulación, la cual genera un precio aproximado y puede variar dependiendo de los requerimientos específicos de cada cliente.

En espera de poderle asesorar de la mejor manera estamos a sus ordenes:

SIMULACION DEL SISTEMA ECOSUN® TARÁNTULA


Descripción: Sistema de generación eléctrica atado a la red o sistema grid tied.

Consumo Energía Mensual: 300.00 KWh. Consumo Energético diario: 10.00 KWh.

Ahorro mensual aproximado con el sistema actual: 325 KWh - Mes.

Ventajas:

1. Energía verde.
2. Ahorro en su factura eléctrica.
3. Mantenimiento mínimo.
4. Eco amigable
5. Reducción de Emisiones de CO₂



Atentamente,

Samuel Vielman
Ingeniero Diseño Solar

Nombre: Raul Contreras
Asesor de Proyectos
rcontreras@hotmail.com
Cel.: 55880219 / 40930491

M. Tablas del estudio financiero (fermentación oscura)

			Precio	Tasa		Mantenimiento	Reabastecimien		
		Trimestre	(Q/kWh)	Municipal	Cargo fijo	Trimestral	to de aguas residuales	Flujos	Retorno de Capital
		0	Q839.44	13%	Q3.04			Q(598,191.19)	
1	2013	1	Q2,165.33	13%	Q9.47	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(1,021.41)	Q(599,212.61)
	2013	2	Q2,180.75	13%	Q9.53	Q(1,800.00)		Q655.95	Q(598,556.66)
	2013	3	Q2,196.17	13%	Q9.60	Q(1,800.00)		Q673.32	Q(597,883.33)
	2013	4	Q2,211.60	13%	Q9.67	Q(1,800.00)		Q690.69	Q(597,192.64)
2	2014	1	Q2,227.02	13%	Q9.74	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(951.94)	Q(598,144.58)
	2014	2	Q2,242.44	13%	Q9.80	Q(1,800.00)		Q725.43	Q(597,419.15)
	2014	3	Q2,257.87	13%	Q9.87	Q(1,800.00)		Q742.80	Q(596,676.35)
	2014	4	Q2,273.29	13%	Q9.94	Q(1,800.00)		Q760.17	Q(595,916.17)
3	2015	1	Q2,288.72	13%	Q10.01	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(882.46)	Q(596,798.63)
	2015	2	Q2,304.14	13%	Q10.07	Q(1,800.00)		Q794.91	Q(596,003.72)
	2015	3	Q2,319.56	13%	Q10.14	Q(1,800.00)		Q812.28	Q(595,191.44)
	2015	4	Q2,334.99	13%	Q10.21	Q(1,800.00)		Q829.65	Q(594,361.78)
4	2016	1	Q2,350.41	13%	Q10.28	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(812.98)	Q(595,174.76)
	2016	2	Q2,365.83	13%	Q10.34	Q(1,800.00)		Q864.39	Q(594,310.37)
	2016	3	Q2,381.26	13%	Q10.41	Q(1,800.00)		Q881.76	Q(593,428.61)
	2016	4	Q2,396.68	13%	Q10.48	Q(1,800.00)		Q899.13	Q(592,529.47)
5	2017	1	Q2,412.11	13%	Q10.55	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(743.50)	Q(593,272.97)
	2017	2	Q2,427.53	13%	Q10.61	Q(1,800.00)		Q933.87	Q(592,339.10)
	2017	3	Q2,442.95	13%	Q10.68	Q(1,800.00)		Q951.24	Q(591,387.85)
	2017	4	Q2,458.38	13%	Q10.75	Q(1,800.00)		Q968.61	Q(590,419.24)
6	2018	1	Q2,473.80	13%	Q10.82	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(674.02)	Q(591,093.26)
	2018	2	Q2,489.22	13%	Q10.88	Q(1,800.00)		Q1,003.35	Q(590,089.90)
	2018	3	Q2,504.65	13%	Q10.95	Q(1,800.00)		Q1,020.72	Q(589,069.18)
	2018	4	Q2,520.07	13%	Q11.02	Q(1,800.00)		Q1,038.09	Q(588,031.08)
7	2019	1	Q2,535.49	13%	Q11.09	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(604.54)	Q(588,635.62)
	2019	2	Q2,550.92	13%	Q11.15	Q(1,800.00)		Q1,072.83	Q(587,562.79)
	2019	3	Q2,566.34	13%	Q11.22	Q(1,800.00)		Q1,090.20	Q(586,472.58)
	2019	4	Q2,581.77	13%	Q11.29	Q(1,800.00)		Q1,107.57	Q(585,365.01)
8	2020	1	Q2,597.19	13%	Q11.36	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(535.06)	Q(585,900.06)
	2020	2	Q2,612.61	13%	Q11.42	Q(1,800.00)		Q1,142.31	Q(584,757.75)
	2020	3	Q2,628.04	13%	Q11.49	Q(1,800.00)		Q1,159.69	Q(583,598.06)
	2020	4	Q2,643.46	13%	Q11.56	Q(1,800.00)		Q1,177.06	Q(582,421.01)
9	2021	1	Q2,658.88	13%	Q11.63	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(465.57)	Q(582,886.58)
	2021	2	Q2,674.31	13%	Q11.69	Q(1,800.00)		Q1,211.80	Q(581,674.79)
	2021	3	Q2,689.73	13%	Q11.76	Q(1,800.00)		Q1,229.17	Q(580,445.62)
	2021	4	Q2,705.16	13%	Q11.83	Q(1,800.00)		Q1,246.54	Q(579,199.08)
10	2022	1	Q2,720.58	13%	Q11.90	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(396.09)	Q(579,595.18)
	2022	2	Q2,736.00	13%	Q11.96	Q(1,800.00)		Q1,281.28	Q(578,313.90)
	2022	3	Q2,751.43	13%	Q12.03	Q(1,800.00)		Q1,298.65	Q(577,015.26)

	2023	3	Q2,813.12	13%	Q12.30	Q(1,800.00)		Q1,368.13	Q(573,306.97)
	2023	4	Q2,828.55	13%	Q12.37	Q(1,800.00)		Q1,385.50	Q(571,921.47)
12	2024	1	Q2,843.97	13%	Q12.43	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(257.13)	Q(572,178.61)
	2024	2	Q2,859.39	13%	Q12.50	Q(1,800.00)		Q1,420.24	Q(570,758.37)
	2024	3	Q2,874.82	13%	Q12.57	Q(1,800.00)		Q1,437.61	Q(569,320.76)
	2024	4	Q2,890.24	13%	Q12.64	Q(1,800.00)		Q1,454.98	Q(567,865.79)
13	2025	1	Q2,905.66	13%	Q12.70	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(187.65)	Q(568,053.44)
	2025	2	Q2,921.09	13%	Q12.77	Q(1,800.00)		Q1,489.72	Q(566,563.72)
	2025	3	Q2,936.51	13%	Q12.84	Q(1,800.00)		Q1,507.09	Q(565,056.63)
	2025	4	Q2,951.93	13%	Q12.91	Q(1,800.00)		Q1,524.46	Q(563,532.18)
14	2026	1	Q2,967.36	13%	Q12.97	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(118.17)	Q(563,650.35)
	2026	2	Q2,982.78	13%	Q13.04	Q(1,800.00)		Q1,559.20	Q(562,091.15)
	2026	3	Q2,998.21	13%	Q13.11	Q(1,800.00)		Q1,576.57	Q(560,514.58)
	2026	4	Q3,013.63	13%	Q13.18	Q(1,800.00)		Q1,593.94	Q(558,920.65)
15	2027	1	Q3,029.05	13%	Q13.24	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q(48.69)	Q(558,969.34)
	2027	2	Q3,044.48	13%	Q13.31	Q(1,800.00)		Q1,628.68	Q(557,340.66)
	2027	3	Q3,059.90	13%	Q13.38	Q(1,800.00)		Q1,646.05	Q(555,694.61)
	2027	4	Q3,075.32	13%	Q13.45	Q(1,800.00)		Q1,663.42	Q(554,031.19)
16	2028	1	Q3,090.75	13%	Q13.51	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q20.79	Q(554,010.40)
	2028	2	Q3,106.17	13%	Q13.58	Q(1,800.00)		Q1,698.16	Q(552,312.24)
	2028	3	Q3,121.60	13%	Q13.65	Q(1,800.00)		Q1,715.53	Q(550,596.71)
	2028	4	Q3,137.02	13%	Q13.72	Q(1,800.00)		Q1,732.90	Q(548,863.82)
17	2029	1	Q3,152.44	13%	Q13.78	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q90.27	Q(548,773.55)
	2029	2	Q3,167.87	13%	Q13.85	Q(1,800.00)		Q1,767.64	Q(547,005.91)
	2029	3	Q3,183.29	13%	Q13.92	Q(1,800.00)		Q1,785.01	Q(545,220.90)
	2029	4	Q3,198.71	13%	Q13.99	Q(1,800.00)		Q1,802.38	Q(543,418.52)
18	2030	1	Q3,214.14	13%	Q14.05	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q159.75	Q(543,258.77)
	2030	2	Q3,229.56	13%	Q14.12	Q(1,800.00)		Q1,837.12	Q(541,421.65)
	2030	3	Q3,244.99	13%	Q14.19	Q(1,800.00)		Q1,854.49	Q(539,567.16)
	2030	4	Q3,260.41	13%	Q14.26	Q(1,800.00)		Q1,871.86	Q(537,695.30)
19	2031	1	Q3,275.83	13%	Q14.32	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q229.23	Q(537,466.07)
	2031	2	Q3,291.26	13%	Q14.39	Q(1,800.00)		Q1,906.60	Q(535,559.47)
	2031	3	Q3,306.68	13%	Q14.46	Q(1,800.00)		Q1,923.97	Q(533,635.50)
	2031	4	Q3,322.10	13%	Q14.52	Q(1,800.00)		Q1,941.34	Q(531,694.16)
20	2032	1	Q3,337.53	13%	Q14.59	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q298.71	Q(531,395.44)
	2032	2	Q3,352.95	13%	Q14.66	Q(1,800.00)		Q1,976.08	Q(529,419.36)
	2032	3	Q3,368.37	13%	Q14.73	Q(1,800.00)		Q1,993.45	Q(527,425.91)
	2032	4	Q3,383.80	13%	Q14.79	Q(1,800.00)		Q2,010.82	Q(525,415.09)
21	2033	1	Q3,399.22	13%	Q14.86	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q368.19	Q(525,046.90)
	2033	2	Q3,414.65	13%	Q14.93	Q(1,800.00)		Q2,045.56	Q(523,001.34)
	2033	3	Q3,430.07	13%	Q15.00	Q(1,800.00)		Q2,062.93	Q(520,938.41)
	2033	4	Q3,445.49	13%	Q15.06	Q(1,800.00)		Q2,080.30	Q(518,858.11)
22	2034	1	Q3,460.92	13%	Q15.13	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q437.67	Q(518,420.43)
	2034	2	Q3,476.34	13%	Q15.20	Q(1,800.00)		Q2,115.04	Q(516,305.39)
	2034	3	Q3,491.76	13%	Q15.27	Q(1,800.00)		Q2,132.41	Q(514,172.98)
	2034	4	Q3,507.19	13%	Q15.33	Q(1,800.00)		Q2,149.78	Q(512,023.20)
23	2035	1	Q3,522.61	13%	Q15.40	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q507.15	Q(511,516.05)

	2035	2	Q3,538.04	13%	Q 15.47	Q(1,800.00)		Q2,184.52	Q(509,331.52)
	2035	3	Q3,553.46	13%	Q 15.54	Q(1,800.00)		Q2,201.89	Q(507,129.63)
	2035	4	Q3,568.88	13%	Q 15.60	Q(1,800.00)		Q2,219.26	Q(504,910.37)
24	2035	1	Q3,584.31	13%	Q 15.67	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q 576.63	Q(504,333.73)
	2036	2	Q3,599.73	13%	Q 15.74	Q(1,800.00)		Q2,254.00	Q(502,079.73)
	2036	3	Q3,615.15	13%	Q 15.81	Q(1,800.00)		Q2,271.37	Q(499,808.36)
	2036	4	Q3,630.58	13%	Q 15.87	Q(1,800.00)		Q2,288.74	Q(497,519.62)
25	2037	1	Q3,646.00	13%	Q 15.94	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q 646.11	Q(496,873.50)
	2037	2	Q3,661.43	13%	Q 16.01	Q(1,800.00)		Q2,323.48	Q(494,550.02)
	2037	3	Q3,676.85	13%	Q 16.08	Q(1,800.00)		Q2,340.85	Q(492,209.17)
	2037	4	Q3,692.27	13%	Q 16.14	Q(1,800.00)		Q2,358.22	Q(489,850.94)
26	2038	1	Q3,707.70	13%	Q 16.21	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q 715.59	Q(489,135.35)
	2038	2	Q3,723.12	13%	Q 16.28	Q(1,800.00)		Q2,392.96	Q(486,742.38)
	2038	3	Q3,738.54	13%	Q 16.35	Q(1,800.00)		Q2,410.33	Q(484,332.05)
	2038	4	Q3,753.97	13%	Q 16.41	Q(1,800.00)		Q2,427.70	Q(481,904.35)
27	2039	1	Q3,769.39	13%	Q 16.48	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q 785.07	Q(481,119.27)
	2039	2	Q3,784.82	13%	Q 16.55	Q(1,800.00)		Q2,462.44	Q(478,656.83)
	2039	3	Q3,800.24	13%	Q 16.62	Q(1,800.00)		Q2,479.81	Q(476,177.01)
	2039	4	Q3,815.66	13%	Q 16.68	Q(1,800.00)		Q2,497.18	Q(473,679.83)
28	2040	1	Q3,831.09	13%	Q 16.75	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q 854.55	Q(472,825.27)
	2040	2	Q3,846.51	13%	Q 16.82	Q(1,800.00)		Q2,531.92	Q(470,293.35)
	2040	3	Q3,861.93	13%	Q 16.89	Q(1,800.00)		Q2,549.30	Q(467,744.05)
	2040	4	Q3,877.36	13%	Q 16.95	Q(1,800.00)		Q2,566.67	Q(465,177.39)
29	2041	1	Q3,892.78	13%	Q 17.02	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q 924.04	Q(464,253.35)
	2041	2	Q3,908.20	13%	Q 17.09	Q(1,800.00)		Q2,601.41	Q(461,651.95)
	2041	3	Q3,923.63	13%	Q 17.15	Q(1,800.00)		Q2,618.78	Q(459,033.17)
	2041	4	Q3,939.05	13%	Q 17.22	Q(1,800.00)		Q2,636.15	Q(456,397.03)
30	2042	1	Q3,954.48	13%	Q 17.29	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q 993.52	Q(455,403.51)
	2042	2	Q3,969.90	13%	Q 17.36	Q(1,800.00)		Q2,670.89	Q(452,732.62)
	2042	3	Q3,985.32	13%	Q 17.42	Q(1,800.00)		Q2,688.26	Q(450,044.37)
	2042	4	Q4,000.75	13%	Q 17.49	Q(1,800.00)		Q2,705.63	Q(447,338.74)
31	2043	1	Q4,016.17	13%	Q 17.56	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q 1,063.00	Q(446,275.74)
	2043	2	Q4,031.59	13%	Q 17.63	Q(1,800.00)		Q2,740.37	Q(443,535.38)
	2043	3	Q4,047.02	13%	Q 17.69	Q(1,800.00)		Q2,757.74	Q(440,777.64)
	2043	4	Q4,062.44	13%	Q 17.76	Q(1,800.00)		Q2,775.11	Q(438,002.54)
32	2044	1	Q4,077.87	13%	Q 17.83	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q 1,132.48	Q(436,870.06)
	2044	2	Q4,093.29	13%	Q 17.90	Q(1,800.00)		Q2,809.85	Q(434,060.21)
	2044	3	Q4,108.71	13%	Q 17.96	Q(1,800.00)		Q2,827.22	Q(431,232.99)
	2044	4	Q4,124.14	13%	Q 18.03	Q(1,800.00)		Q2,844.59	Q(428,388.41)
33	2045	1	Q4,139.56	13%	Q 18.10	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q 1,201.96	Q(427,186.45)
	2045	2	Q4,154.98	13%	Q 18.17	Q(1,800.00)		Q2,879.33	Q(424,307.12)
	2045	3	Q4,170.41	13%	Q 18.23	Q(1,800.00)		Q2,896.70	Q(421,410.42)
	2045	4	Q4,185.83	13%	Q 18.30	Q(1,800.00)		Q2,914.07	Q(418,496.36)
34	2046	1	Q4,201.26	13%	Q 18.37	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q 1,271.44	Q(417,224.92)
	2046	2	Q4,216.68	13%	Q 18.44	Q(1,800.00)		Q2,948.81	Q(414,276.11)
	2046	3	Q4,232.10	13%	Q 18.50	Q(1,800.00)		Q2,966.18	Q(411,309.93)
	2046	4	Q4,247.53	13%	Q 18.57	Q(1,800.00)		Q2,983.55	Q(408,326.38)

35	2047	1	Q4,262.95	13%	Q18.64	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q1,340.92	Q(406,985.47)
	2047	2	Q4,278.37	13%	Q18.71	Q(1,800.00)		Q3,018.29	Q(403,967.18)
	2047	3	Q4,293.80	13%	Q18.77	Q(1,800.00)		Q3,035.66	Q(400,931.52)
	2047	4	Q4,309.22	13%	Q18.84	Q(1,800.00)		Q3,053.03	Q(397,878.49)
36	2048	1	Q4,324.64	13%	Q18.91	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q1,410.40	Q(396,468.09)
	2048	2	Q4,340.07	13%	Q18.98	Q(1,800.00)		Q3,087.77	Q(393,380.32)
	2048	3	Q4,355.49	13%	Q19.04	Q(1,800.00)		Q3,105.14	Q(390,275.18)
	2048	4	Q4,370.92	13%	Q19.11	Q(1,800.00)		Q3,122.51	Q(387,152.67)
37	2049	1	Q4,386.34	13%	Q19.18	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q1,479.88	Q(385,672.80)
	2049	2	Q4,401.76	13%	Q19.25	Q(1,800.00)		Q3,157.25	Q(382,515.55)
	2049	3	Q4,417.19	13%	Q19.31	Q(1,800.00)		Q3,174.62	Q(379,340.93)
	2049	4	Q4,432.61	13%	Q19.38	Q(1,800.00)		Q3,191.99	Q(376,148.94)
38	2050	1	Q4,448.03	13%	Q19.45	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q1,549.36	Q(374,599.58)
	2050	2	Q4,463.46	13%	Q19.51	Q(1,800.00)		Q3,226.73	Q(371,372.85)
	2050	3	Q4,478.88	13%	Q19.58	Q(1,800.00)		Q3,244.10	Q(368,128.75)
	2050	4	Q4,494.31	13%	Q19.65	Q(1,800.00)		Q3,261.47	Q(364,867.28)
39	2051	1	Q4,509.73	13%	Q19.72	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q1,618.84	Q(363,248.44)
	2051	2	Q4,525.15	13%	Q19.78	Q(1,800.00)		Q3,296.21	Q(359,952.23)
	2051	3	Q4,540.58	13%	Q19.85	Q(1,800.00)		Q3,313.58	Q(356,638.64)
	2051	4	Q4,556.00	13%	Q19.92	Q(1,800.00)		Q3,330.95	Q(353,307.69)
40	2052	1	Q4,571.42	13%	Q19.99	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q1,688.32	Q(351,619.37)
	2052	2	Q4,586.85	13%	Q20.05	Q(1,800.00)		Q3,365.69	Q(348,253.68)
	2052	3	Q4,602.27	13%	Q20.12	Q(1,800.00)		Q3,383.06	Q(344,870.62)
	2052	4	Q4,617.70	13%	Q20.19	Q(1,800.00)		Q3,400.43	Q(341,470.19)
41	2053	1	Q4,633.12	13%	Q20.26	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q1,757.80	Q(339,712.39)
	2053	2	Q4,648.54	13%	Q20.32	Q(1,800.00)		Q3,435.17	Q(336,277.22)
	2053	3	Q4,663.97	13%	Q20.39	Q(1,800.00)		Q3,452.54	Q(332,824.68)
	2053	4	Q4,679.39	13%	Q20.46	Q(1,800.00)		Q3,469.91	Q(329,354.76)
42	2054	1	Q4,694.81	13%	Q20.53	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q1,827.28	Q(327,527.48)
	2054	2	Q4,710.24	13%	Q20.59	Q(1,800.00)		Q3,504.65	Q(324,022.83)
	2054	3	Q4,725.66	13%	Q20.66	Q(1,800.00)		Q3,522.02	Q(320,500.81)
	2054	4	Q4,741.09	13%	Q20.73	Q(1,800.00)		Q3,539.39	Q(316,961.42)
43	2055	1	Q4,756.51	13%	Q20.80	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q1,896.76	Q(315,064.65)
	2055	2	Q4,771.93	13%	Q20.86	Q(1,800.00)		Q3,574.13	Q(311,490.52)
	2055	3	Q4,787.36	13%	Q20.93	Q(1,800.00)		Q3,591.50	Q(307,899.02)
	2055	4	Q4,802.78	13%	Q21.00	Q(1,800.00)		Q3,608.87	Q(304,290.15)
44	2056	1	Q4,818.20	13%	Q21.07	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q1,966.24	Q(302,323.90)
	2056	2	Q4,833.63	13%	Q21.13	Q(1,800.00)		Q3,643.61	Q(298,680.29)
	2056	3	Q4,849.05	13%	Q21.20	Q(1,800.00)		Q3,660.98	Q(295,019.31)
	2056	4	Q4,864.47	13%	Q21.27	Q(1,800.00)		Q3,678.35	Q(291,340.95)
45	2057	1	Q4,879.90	13%	Q21.34	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q2,035.72	Q(289,305.23)
	2057	2	Q4,895.32	13%	Q21.40	Q(1,800.00)		Q3,713.09	Q(285,592.14)
	2057	3	Q4,910.75	13%	Q21.47	Q(1,800.00)		Q3,730.46	Q(281,861.67)
	2057	4	Q4,926.17	13%	Q21.54	Q(1,800.00)		Q3,747.83	Q(278,113.84)
46	2058	1	Q4,941.59	13%	Q21.61	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q2,105.20	Q(276,008.63)
	2058	2	Q4,957.02	13%	Q21.67	Q(1,800.00)		Q3,782.57	Q(272,226.06)
	2058	3	Q4,972.44	13%	Q21.74	Q(1,800.00)		Q3,799.94	Q(268,426.12)

	2058	4	Q4,987.86	13%	Q21.81	Q(1,800.00)		Q3,817.31	Q(264,608.80)
47	2059	1	Q5,003.29	13%	Q21.88	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q2,174.68	Q(262,434.12)
	2059	2	Q5,018.71	13%	Q21.94	Q(1,800.00)		Q3,852.05	Q(258,582.06)
	2059	3	Q5,034.14	13%	Q22.01	Q(1,800.00)		Q3,869.42	Q(254,712.64)
	2059	4	Q5,049.56	13%	Q22.08	Q(1,800.00)		Q3,886.79	Q(250,825.84)
48	2060	1	Q5,064.98	13%	Q22.14	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q2,244.16	Q(248,581.68)
	2060	2	Q5,080.41	13%	Q22.21	Q(1,800.00)		Q3,921.54	Q(244,660.14)
	2060	3	Q5,095.83	13%	Q22.28	Q(1,800.00)		Q3,938.91	Q(240,721.24)
	2060	4	Q5,111.25	13%	Q22.35	Q(1,800.00)		Q3,956.28	Q(236,764.96)
49	2061	1	Q5,126.68	13%	Q22.41	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q2,313.65	Q(234,451.32)
	2061	2	Q5,142.10	13%	Q22.48	Q(1,800.00)		Q3,991.02	Q(230,460.30)
	2061	3	Q5,157.53	13%	Q22.55	Q(1,800.00)		Q4,008.39	Q(226,451.92)
	2061	4	Q5,172.95	13%	Q22.62	Q(1,800.00)		Q4,025.76	Q(222,426.16)
50	2062	1	Q5,188.37	13%	Q22.68	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q2,383.13	Q(220,043.04)
	2062	2	Q5,203.80	13%	Q22.75	Q(1,800.00)		Q4,060.50	Q(215,982.54)
	2062	3	Q5,219.22	13%	Q22.82	Q(1,800.00)		Q4,077.87	Q(211,904.67)
	2062	4	Q5,234.64	13%	Q22.89	Q(1,800.00)		Q4,095.24	Q(207,809.44)
51	2063	1	Q5,974.98	13%	Q22.95	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q3,271.76	Q(204,537.68)
	2063	2	Q5,990.41	13%	Q23.02	Q(1,800.00)		Q4,949.13	Q(199,588.55)
	2063	3	Q6,005.83	13%	Q23.09	Q(1,800.00)		Q4,966.50	Q(194,622.05)
	2063	4	Q6,021.25	13%	Q23.16	Q(1,800.00)		Q4,983.87	Q(189,638.18)
52	2064	1	Q6,036.68	13%	Q23.22	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q3,341.24	Q(186,296.94)
	2064	2	Q6,052.10	13%	Q23.29	Q(1,800.00)		Q5,018.61	Q(181,278.33)
	2064	3	Q6,067.52	13%	Q23.36	Q(1,800.00)		Q5,035.98	Q(176,242.35)
	2064	4	Q6,082.95	13%	Q23.43	Q(1,800.00)		Q5,053.35	Q(171,189.00)
53	2065	1	Q6,098.37	13%	Q23.49	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q3,410.72	Q(167,778.28)
	2065	2	Q6,113.80	13%	Q23.56	Q(1,800.00)		Q5,088.09	Q(162,690.19)
	2065	3	Q6,129.22	13%	Q23.63	Q(1,800.00)		Q5,105.46	Q(157,584.72)
	2065	4	Q6,144.64	13%	Q23.70	Q(1,800.00)		Q5,122.83	Q(152,461.89)
54	2066	1	Q6,160.07	13%	Q23.76	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q3,480.20	Q(148,981.69)
	2066	2	Q6,175.49	13%	Q23.83	Q(1,800.00)		Q5,157.57	Q(143,824.12)
	2066	3	Q6,190.91	13%	Q23.90	Q(1,800.00)		Q5,174.94	Q(138,649.18)
	2066	4	Q6,206.34	13%	Q23.97	Q(1,800.00)		Q5,192.31	Q(133,456.87)
55	2067	1	Q6,221.76	13%	Q24.03	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q3,549.68	Q(129,907.19)
	2067	2	Q6,237.18	13%	Q24.10	Q(1,800.00)		Q5,227.05	Q(124,680.13)
	2067	3	Q6,252.61	13%	Q24.17	Q(1,800.00)		Q5,244.42	Q(119,435.71)
	2067	4	Q6,268.03	13%	Q24.24	Q(1,800.00)		Q5,261.79	Q(114,173.92)
56	2068	1	Q6,283.46	13%	Q24.30	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q3,619.16	Q(110,554.76)
	2068	2	Q6,298.88	13%	Q24.37	Q(1,800.00)		Q5,296.53	Q(105,258.23)
	2068	3	Q6,314.30	13%	Q24.44	Q(1,800.00)		Q5,313.90	Q(99,944.32)
	2068	4	Q6,329.73	13%	Q24.50	Q(1,800.00)		Q5,331.27	Q(94,613.05)
57	2069	1	Q6,345.15	13%	Q24.57	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q3,688.64	Q(90,924.41)
	2069	2	Q6,360.57	13%	Q24.64	Q(1,800.00)		Q5,366.01	Q(85,558.40)
	2069	3	Q6,376.00	13%	Q24.71	Q(1,800.00)		Q5,383.38	Q(80,175.01)
	2069	4	Q6,391.42	13%	Q24.77	Q(1,800.00)		Q5,400.75	Q(74,774.26)
58	2070	1	Q6,406.85	13%	Q24.84	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q3,758.12	Q(71,016.14)
	2070	2	Q6,422.27	13%	Q24.91	Q(1,800.00)		Q5,435.49	Q(65,580.64)

	2070	3	Q6,437.69	13%	Q24.98	Q(1,800.00)		Q5,452.86	Q(60,127.78)
	2070	4	Q6,453.12	13%	Q25.04	Q(1,800.00)		Q5,470.23	Q(54,657.55)
59	2071	1	Q6,468.54	13%	Q25.11	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q3,827.60	Q(50,829.94)
	2071	2	Q6,483.96	13%	Q25.18	Q(1,800.00)		Q5,504.97	Q(45,324.97)
	2071	3	Q6,499.39	13%	Q25.25	Q(1,800.00)		Q5,522.34	Q(39,802.63)
	2071	4	Q6,514.81	13%	Q25.31	Q(1,800.00)		Q5,539.71	Q(34,262.91)
60	2072	1	Q6,530.24	13%	Q25.38	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q3,897.08	Q(30,365.83)
	2072	2	Q6,545.66	13%	Q25.45	Q(1,800.00)		Q5,574.45	Q(24,791.37)
	2072	3	Q6,561.08	13%	Q25.52	Q(1,800.00)		Q5,591.82	Q(19,199.55)
	2072	4	Q6,576.51	13%	Q25.58	Q(1,800.00)		Q5,609.19	Q(13,590.35)
61	2073	1	Q6,591.93	13%	Q25.65	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q3,966.56	Q(9,623.79)
	2073	2	Q6,607.35	13%	Q25.72	Q(1,800.00)		Q5,643.93	Q(3,979.85)
	2073	3	Q6,622.78	13%	Q25.79	Q(1,800.00)		Q5,661.30	Q1,681.45
	2073	4	Q6,638.20	13%	Q25.85	Q(1,800.00)		Q5,678.68	Q7,360.13
62	2074	1	Q6,653.63	13%	Q25.92	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q4,036.05	Q11,396.17
	2074	2	Q6,669.05	13%	Q25.99	Q(1,800.00)		Q5,713.42	Q17,109.59
	2074	3	Q6,684.47	13%	Q26.06	Q(1,800.00)		Q5,730.79	Q22,840.37
	2074	4	Q6,699.90	13%	Q26.12	Q(1,800.00)		Q5,748.16	Q28,588.53
63	2075	1	Q6,715.32	13%	Q26.19	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q4,105.53	Q32,694.05
	2075	2	Q6,730.74	13%	Q26.26	Q(1,800.00)		Q5,782.90	Q38,476.95
	2075	3	Q6,746.17	13%	Q26.33	Q(1,800.00)		Q5,800.27	Q44,277.21
	2075	4	Q6,761.59	13%	Q26.39	Q(1,800.00)		Q5,817.64	Q50,094.85
64	2076	1	Q6,777.01	13%	Q26.46	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q4,175.01	Q54,269.86
	2076	2	Q6,792.44	13%	Q26.53	Q(1,800.00)		Q5,852.38	Q60,122.23
	2076	3	Q6,807.86	13%	Q26.60	Q(1,800.00)		Q5,869.75	Q65,991.98
	2076	4	Q6,823.29	13%	Q26.66	Q(1,800.00)		Q5,887.12	Q71,879.10
65	2077	1	Q6,838.71	13%	Q26.73	Q(1,800.00)	Q(1,660.00)	Q4,244.49	Q76,123.58
	2077	2	Q6,854.13	13%	Q26.80	Q(1,800.00)		Q5,921.86	Q82,045.44
	2077	3	Q6,869.56	13%	Q26.87	Q(1,800.00)		Q5,939.23	Q87,984.67
	2077	4	Q6,884.98	13%	Q26.93	Q(1,800.00)		Q5,956.60	Q93,941.26

N. Tablas del estudio financiero (hidrógeno solar)

Salidas II Q (2,174,597.24)	# de trimestre	Salidas		Entradas Consumo	Entradas Netas	
		Mantenimiento	Cargo Fijo			
Q (2,172,717.98)	0	Q	(568.75) Q	(9.19) Q	2,457.20 Q	1,879.26
Q (2,170,821.28)	1	Q	(568.75) Q	(9.23) Q	2,474.67 Q	1,896.70
Q (2,168,907.15)	2	Q	(568.75) Q	(9.27) Q	2,492.15 Q	1,914.13
Q (2,166,975.59)	3	Q	(568.75) Q	(9.31) Q	2,509.62 Q	1,931.56
Q (2,165,026.59)	4	Q	(568.75) Q	(9.35) Q	2,527.10 Q	1,949.00
Q (2,163,060.16)	5	Q	(568.75) Q	(9.39) Q	2,544.57 Q	1,966.43
Q (2,161,076.29)	6	Q	(568.75) Q	(9.43) Q	2,562.04 Q	1,983.87
Q (2,159,074.99)	7	Q	(568.75) Q	(9.47) Q	2,579.52 Q	2,001.30
Q (2,157,056.26)	8	Q	(568.75) Q	(9.51) Q	2,596.99 Q	2,018.73
Q (2,155,020.09)	9	Q	(568.75) Q	(9.55) Q	2,614.47 Q	2,036.17
Q (2,152,966.48)	10	Q	(568.75) Q	(9.59) Q	2,631.94 Q	2,053.60
Q (2,150,895.45)	11	Q	(568.75) Q	(9.63) Q	2,649.42 Q	2,071.04
Q (2,148,806.98)	12	Q	(568.75) Q	(9.67) Q	2,666.89 Q	2,088.47
Q (2,146,701.07)	13	Q	(568.75) Q	(9.71) Q	2,684.37 Q	2,105.90
Q (2,144,577.73)	14	Q	(568.75) Q	(9.75) Q	2,701.84 Q	2,123.34
Q (2,142,436.96)	15	Q	(568.75) Q	(9.79) Q	2,719.31 Q	2,140.77
Q (2,140,278.75)	16	Q	(568.75) Q	(9.83) Q	2,736.79 Q	2,158.21
Q (2,138,103.11)	17	Q	(568.75) Q	(9.87) Q	2,754.26 Q	2,175.64
Q (2,135,910.04)	18	Q	(568.75) Q	(9.91) Q	2,771.74 Q	2,193.07
Q (2,133,699.53)	19	Q	(568.75) Q	(9.95) Q	2,789.21 Q	2,210.51
Q (2,131,471.59)	20	Q	(568.75) Q	(9.99) Q	2,806.69 Q	2,227.94
Q (2,129,226.21)	21	Q	(568.75) Q	(10.03) Q	2,824.16 Q	2,245.38
Q (2,126,963.40)	22	Q	(568.75) Q	(10.07) Q	2,841.63 Q	2,262.81
Q (2,124,683.15)	23	Q	(568.75) Q	(10.11) Q	2,859.11 Q	2,280.24
Q (2,122,385.48)	24	Q	(568.75) Q	(10.15) Q	2,876.58 Q	2,297.68
Q (2,120,070.36)	25	Q	(568.75) Q	(10.19) Q	2,894.06 Q	2,315.11
Q (2,117,737.82)	26	Q	(568.75) Q	(10.23) Q	2,911.53 Q	2,332.55
Q (2,115,387.83)	27	Q	(568.75) Q	(10.27) Q	2,929.01 Q	2,349.98
Q (2,113,020.42)	28	Q	(568.75) Q	(10.32) Q	2,946.48 Q	2,367.42
Q (2,110,635.57)	29	Q	(568.75) Q	(10.36) Q	2,963.95 Q	2,384.85
Q (2,108,233.29)	30	Q	(568.75) Q	(10.40) Q	2,981.43 Q	2,402.28
Q (2,105,813.57)	31	Q	(568.75) Q	(10.44) Q	2,998.90 Q	2,419.72
Q (2,103,376.42)	32	Q	(568.75) Q	(10.48) Q	3,016.38 Q	2,437.15
Q (2,100,921.83)	33	Q	(568.75) Q	(10.52) Q	3,033.85 Q	2,454.59
Q (2,098,449.81)	34	Q	(568.75) Q	(10.56) Q	3,051.33 Q	2,472.02
Q (2,095,960.36)	35	Q	(568.75) Q	(10.60) Q	3,068.80 Q	2,489.45
Q (2,093,453.47)	36	Q	(568.75) Q	(10.64) Q	3,086.28 Q	2,506.89
Q (2,090,929.15)	37	Q	(568.75) Q	(10.68) Q	3,103.75 Q	2,524.32
Q (2,088,387.40)	38	Q	(568.75) Q	(10.72) Q	3,121.22 Q	2,541.76
Q (2,085,828.21)	39	Q	(568.75) Q	(10.76) Q	3,138.70 Q	2,559.19
Q (2,083,251.58)	40	Q	(568.75) Q	(10.80) Q	3,156.17 Q	2,576.62
Q (2,080,657.53)	41	Q	(568.75) Q	(10.84) Q	3,173.65 Q	2,594.06
Q (2,078,046.03)	42	Q	(568.75) Q	(10.88) Q	3,191.12 Q	2,611.49
Q (2,075,417.11)	43	Q	(568.75) Q	(10.92) Q	3,208.60 Q	2,628.93
Q (2,072,770.75)	44	Q	(568.75) Q	(10.96) Q	3,226.07 Q	2,646.36
Q (2,070,106.96)	45	Q	(568.75) Q	(11.00) Q	3,243.54 Q	2,663.79
Q (2,067,425.73)	46	Q	(568.75) Q	(11.04) Q	3,261.02 Q	2,681.23
Q (2,064,727.07)	47	Q	(568.75) Q	(11.08) Q	3,278.49 Q	2,698.66
Q (2,062,010.97)	48	Q	(568.75) Q	(11.12) Q	3,295.97 Q	2,716.10
Q (2,059,277.44)	49	Q	(568.75) Q	(11.16) Q	3,313.44 Q	2,733.53
Q (2,056,526.48)	50	Q	(568.75) Q	(11.20) Q	3,330.92 Q	2,750.96
Q (2,053,758.08)	51	Q	(568.75) Q	(11.24) Q	3,348.39 Q	2,768.40
Q (2,050,972.25)	52	Q	(568.75) Q	(11.28) Q	3,365.86 Q	2,785.83
Q (2,048,168.98)	53	Q	(568.75) Q	(11.32) Q	3,383.34 Q	2,803.27
Q (2,045,348.28)	54	Q	(568.75) Q	(11.36) Q	3,400.81 Q	2,820.70
Q (2,042,510.15)	55	Q	(568.75) Q	(11.40) Q	3,418.29 Q	2,838.13
Q (2,039,654.58)	56	Q	(568.75) Q	(11.44) Q	3,435.76 Q	2,855.57
Q (2,036,781.58)	57	Q	(568.75) Q	(11.48) Q	3,453.24 Q	2,873.00
Q (2,033,891.14)	58	Q	(568.75) Q	(11.52) Q	3,470.71 Q	2,890.44
Q (2,030,983.27)	59	Q	(568.75) Q	(11.56) Q	3,488.18 Q	2,907.87
Q (2,028,057.97)	60	Q	(568.75) Q	(11.61) Q	3,505.66 Q	2,925.30
Q (2,025,115.23)	61	Q	(568.75) Q	(11.65) Q	3,523.13 Q	2,942.74
Q (2,022,155.06)	62	Q	(568.75) Q	(11.69) Q	3,540.61 Q	2,960.17
Q (2,019,177.45)	63	Q	(568.75) Q	(11.73) Q	3,558.08 Q	2,977.61
Q (2,016,182.41)	64	Q	(568.75) Q	(11.77) Q	3,575.56 Q	2,995.04

Q	(2,013,169.94)	66	Q	(568.75)	Q	(11.81)	Q	3,593.03	Q	3,012.47
Q	(2,010,140.03)	67	Q	(568.75)	Q	(11.85)	Q	3,610.51	Q	3,029.91
Q	(2,007,092.68)	68	Q	(568.75)	Q	(11.89)	Q	3,627.98	Q	3,047.34
Q	(2,004,027.91)	69	Q	(568.75)	Q	(11.93)	Q	3,645.45	Q	3,064.78
Q	(2,000,945.70)	70	Q	(568.75)	Q	(11.97)	Q	3,662.93	Q	3,082.21
Q	(1,997,846.05)	71	Q	(568.75)	Q	(12.01)	Q	3,680.40	Q	3,099.64
Q	(1,994,728.97)	72	Q	(568.75)	Q	(12.05)	Q	3,697.88	Q	3,117.08
Q	(1,991,594.46)	73	Q	(568.75)	Q	(12.09)	Q	3,715.35	Q	3,134.51
Q	(1,988,442.52)	74	Q	(568.75)	Q	(12.13)	Q	3,732.83	Q	3,151.95
Q	(1,985,273.13)	75	Q	(568.75)	Q	(12.17)	Q	3,750.30	Q	3,169.38
Q	(1,982,086.32)	76	Q	(568.75)	Q	(12.21)	Q	3,767.77	Q	3,186.81
Q	(1,978,882.07)	77	Q	(568.75)	Q	(12.25)	Q	3,785.25	Q	3,204.25
Q	(1,975,660.39)	78	Q	(568.75)	Q	(12.29)	Q	3,802.72	Q	3,221.68
Q	(1,972,421.27)	79	Q	(568.75)	Q	(12.33)	Q	3,820.20	Q	3,239.12
Q	(1,969,164.72)	80	Q	(568.75)	Q	(12.37)	Q	3,837.67	Q	3,256.55
Q	(1,965,890.74)	81	Q	(568.75)	Q	(12.41)	Q	3,855.15	Q	3,273.98
Q	(1,962,599.32)	82	Q	(568.75)	Q	(12.45)	Q	3,872.62	Q	3,291.42
Q	(1,959,290.46)	83	Q	(568.75)	Q	(12.49)	Q	3,890.09	Q	3,308.85
Q	(1,955,964.18)	84	Q	(568.75)	Q	(12.53)	Q	3,907.57	Q	3,326.29
Q	(1,952,620.46)	85	Q	(568.75)	Q	(12.57)	Q	3,925.04	Q	3,343.72
Q	(1,949,259.30)	86	Q	(568.75)	Q	(12.61)	Q	3,942.52	Q	3,361.15
Q	(1,945,880.71)	87	Q	(568.75)	Q	(12.65)	Q	3,959.99	Q	3,378.59
Q	(1,942,484.69)	88	Q	(568.75)	Q	(12.69)	Q	3,977.47	Q	3,396.02
Q	(1,939,071.23)	89	Q	(568.75)	Q	(12.73)	Q	3,994.94	Q	3,413.46
Q	(1,935,640.34)	90	Q	(568.75)	Q	(12.77)	Q	4,012.42	Q	3,430.89
Q	(1,932,192.02)	91	Q	(568.75)	Q	(12.81)	Q	4,029.89	Q	3,448.33
Q	(1,928,726.26)	92	Q	(568.75)	Q	(12.85)	Q	4,047.36	Q	3,465.76
Q	(1,925,243.06)	93	Q	(568.75)	Q	(12.90)	Q	4,064.84	Q	3,483.19
Q	(1,921,742.44)	94	Q	(568.75)	Q	(12.94)	Q	4,082.31	Q	3,500.63
Q	(1,918,224.38)	95	Q	(568.75)	Q	(12.98)	Q	4,099.79	Q	3,518.06
Q	(1,914,688.88)	96	Q	(568.75)	Q	(13.02)	Q	4,117.26	Q	3,535.50
Q	(1,911,135.95)	97	Q	(568.75)	Q	(13.06)	Q	4,134.74	Q	3,552.93
Q	(1,907,565.59)	98	Q	(568.75)	Q	(13.10)	Q	4,152.21	Q	3,570.36
Q	(1,903,977.79)	99	Q	(568.75)	Q	(13.14)	Q	4,169.68	Q	3,587.80
Q	(2,013,169.94)	66	Q	(568.75)	Q	(11.81)	Q	3,593.03	Q	3,012.47
Q	(2,010,140.03)	67	Q	(568.75)	Q	(11.85)	Q	3,610.51	Q	3,029.91
Q	(2,007,092.68)	68	Q	(568.75)	Q	(11.89)	Q	3,627.98	Q	3,047.34
Q	(2,004,027.91)	69	Q	(568.75)	Q	(11.93)	Q	3,645.45	Q	3,064.78
Q	(2,000,945.70)	70	Q	(568.75)	Q	(11.97)	Q	3,662.93	Q	3,082.21
Q	(1,997,846.05)	71	Q	(568.75)	Q	(12.01)	Q	3,680.40	Q	3,099.64
Q	(1,994,728.97)	72	Q	(568.75)	Q	(12.05)	Q	3,697.88	Q	3,117.08
Q	(1,991,594.46)	73	Q	(568.75)	Q	(12.09)	Q	3,715.35	Q	3,134.51
Q	(1,988,442.52)	74	Q	(568.75)	Q	(12.13)	Q	3,732.83	Q	3,151.95
Q	(1,985,273.13)	75	Q	(568.75)	Q	(12.17)	Q	3,750.30	Q	3,169.38
Q	(1,982,086.32)	76	Q	(568.75)	Q	(12.21)	Q	3,767.77	Q	3,186.81
Q	(1,978,882.07)	77	Q	(568.75)	Q	(12.25)	Q	3,785.25	Q	3,204.25
Q	(1,975,660.39)	78	Q	(568.75)	Q	(12.29)	Q	3,802.72	Q	3,221.68
Q	(1,972,421.27)	79	Q	(568.75)	Q	(12.33)	Q	3,820.20	Q	3,239.12
Q	(1,969,164.72)	80	Q	(568.75)	Q	(12.37)	Q	3,837.67	Q	3,256.55
Q	(1,965,890.74)	81	Q	(568.75)	Q	(12.41)	Q	3,855.15	Q	3,273.98
Q	(1,962,599.32)	82	Q	(568.75)	Q	(12.45)	Q	3,872.62	Q	3,291.42
Q	(1,959,290.46)	83	Q	(568.75)	Q	(12.49)	Q	3,890.09	Q	3,308.85
Q	(1,955,964.18)	84	Q	(568.75)	Q	(12.53)	Q	3,907.57	Q	3,326.29
Q	(1,952,620.46)	85	Q	(568.75)	Q	(12.57)	Q	3,925.04	Q	3,343.72
Q	(1,949,259.30)	86	Q	(568.75)	Q	(12.61)	Q	3,942.52	Q	3,361.15
Q	(1,945,880.71)	87	Q	(568.75)	Q	(12.65)	Q	3,959.99	Q	3,378.59
Q	(1,942,484.69)	88	Q	(568.75)	Q	(12.69)	Q	3,977.47	Q	3,396.02
Q	(1,939,071.23)	89	Q	(568.75)	Q	(12.73)	Q	3,994.94	Q	3,413.46
Q	(1,935,640.34)	90	Q	(568.75)	Q	(12.77)	Q	4,012.42	Q	3,430.89
Q	(1,932,192.02)	91	Q	(568.75)	Q	(12.81)	Q	4,029.89	Q	3,448.33
Q	(1,928,726.26)	92	Q	(568.75)	Q	(12.85)	Q	4,047.36	Q	3,465.76
Q	(1,925,243.06)	93	Q	(568.75)	Q	(12.90)	Q	4,064.84	Q	3,483.19
Q	(1,921,742.44)	94	Q	(568.75)	Q	(12.94)	Q	4,082.31	Q	3,500.63
Q	(1,918,224.38)	95	Q	(568.75)	Q	(12.98)	Q	4,099.79	Q	3,518.06
Q	(1,914,688.88)	96	Q	(568.75)	Q	(13.02)	Q	4,117.26	Q	3,535.50
Q	(1,911,135.95)	97	Q	(568.75)	Q	(13.06)	Q	4,134.74	Q	3,552.93
Q	(1,907,565.59)	98	Q	(568.75)	Q	(13.10)	Q	4,152.21	Q	3,570.36
Q	(1,903,977.79)	99	Q	(568.75)	Q	(13.14)	Q	4,169.68	Q	3,587.80

Q	(1,900,372.56)	100	Q	(568.75)	Q	(13.18)	Q	4,187.16	Q	3,605.23
Q	(1,896,749.89)	101	Q	(568.75)	Q	(13.22)	Q	4,204.63	Q	3,622.67
Q	(1,893,109.79)	102	Q	(568.75)	Q	(13.26)	Q	4,222.11	Q	3,640.10
Q	(1,889,452.26)	103	Q	(568.75)	Q	(13.30)	Q	4,239.58	Q	3,657.53
Q	(1,885,777.29)	104	Q	(568.75)	Q	(13.34)	Q	4,257.06	Q	3,674.97
Q	(1,882,084.89)	105	Q	(568.75)	Q	(13.38)	Q	4,274.53	Q	3,692.40
Q	(1,878,375.06)	106	Q	(568.75)	Q	(13.42)	Q	4,292.00	Q	3,709.84
Q	(1,874,647.79)	107	Q	(568.75)	Q	(13.46)	Q	4,309.48	Q	3,727.27
Q	(1,870,903.08)	108	Q	(568.75)	Q	(13.50)	Q	4,326.95	Q	3,744.70
Q	(1,867,140.94)	109	Q	(568.75)	Q	(13.54)	Q	4,344.43	Q	3,762.14
Q	(1,863,361.37)	110	Q	(568.75)	Q	(13.58)	Q	4,361.90	Q	3,779.57
Q	(1,859,564.37)	111	Q	(568.75)	Q	(13.62)	Q	4,379.38	Q	3,797.01
Q	(1,855,749.93)	112	Q	(568.75)	Q	(13.66)	Q	4,396.85	Q	3,814.44
Q	(1,851,918.05)	113	Q	(568.75)	Q	(13.70)	Q	4,414.33	Q	3,831.87
Q	(1,848,068.75)	114	Q	(568.75)	Q	(13.74)	Q	4,431.80	Q	3,849.31
Q	(1,844,202.00)	115	Q	(568.75)	Q	(13.78)	Q	4,449.27	Q	3,866.74
Q	(1,840,317.83)	116	Q	(568.75)	Q	(13.82)	Q	4,466.75	Q	3,884.18
Q	(1,836,416.22)	117	Q	(568.75)	Q	(13.86)	Q	4,484.22	Q	3,901.61
Q	(1,832,497.17)	118	Q	(568.75)	Q	(13.90)	Q	4,501.70	Q	3,919.04
Q	(1,828,560.70)	119	Q	(568.75)	Q	(13.94)	Q	4,519.17	Q	3,936.48
Q	(1,824,606.78)	120	Q	(568.75)	Q	(13.98)	Q	4,536.65	Q	3,953.91
Q	(1,820,635.44)	121	Q	(568.75)	Q	(14.02)	Q	4,554.12	Q	3,971.35
Q	(1,816,646.66)	122	Q	(568.75)	Q	(14.06)	Q	4,571.59	Q	3,988.78
Q	(1,812,640.44)	123	Q	(568.75)	Q	(14.10)	Q	4,589.07	Q	4,006.21
Q	(1,808,616.79)	124	Q	(568.75)	Q	(14.14)	Q	4,606.54	Q	4,023.65
Q	(1,804,575.71)	125	Q	(568.75)	Q	(14.19)	Q	4,624.02	Q	4,041.08
Q	(1,800,517.20)	126	Q	(568.75)	Q	(14.23)	Q	4,641.49	Q	4,058.52
Q	(1,796,441.25)	127	Q	(568.75)	Q	(14.27)	Q	4,658.97	Q	4,075.95
Q	(1,792,347.86)	128	Q	(568.75)	Q	(14.31)	Q	4,676.44	Q	4,093.38
Q	(1,788,237.04)	129	Q	(568.75)	Q	(14.35)	Q	4,693.91	Q	4,110.82
Q	(1,784,108.79)	130	Q	(568.75)	Q	(14.39)	Q	4,711.39	Q	4,128.25
Q	(1,779,963.10)	131	Q	(568.75)	Q	(14.43)	Q	4,728.86	Q	4,145.69
Q	(1,775,799.98)	132	Q	(568.75)	Q	(14.47)	Q	4,746.34	Q	4,163.12
Q	(1,771,619.43)	133	Q	(568.75)	Q	(14.51)	Q	4,763.81	Q	4,180.55
Q	(1,767,421.44)	134	Q	(568.75)	Q	(14.55)	Q	4,781.29	Q	4,197.99
Q	(1,763,206.02)	135	Q	(568.75)	Q	(14.59)	Q	4,798.76	Q	4,215.42
Q	(1,758,973.16)	136	Q	(568.75)	Q	(14.63)	Q	4,816.24	Q	4,232.86
Q	(1,754,722.87)	137	Q	(568.75)	Q	(14.67)	Q	4,833.71	Q	4,250.29
Q	(1,750,455.15)	138	Q	(568.75)	Q	(14.71)	Q	4,851.18	Q	4,267.72
Q	(1,746,169.99)	139	Q	(568.75)	Q	(14.75)	Q	4,868.66	Q	4,285.16
Q	(1,741,867.39)	140	Q	(568.75)	Q	(14.79)	Q	4,886.13	Q	4,302.59
Q	(1,737,547.37)	141	Q	(568.75)	Q	(14.83)	Q	4,903.61	Q	4,320.03
Q	(1,733,209.91)	142	Q	(568.75)	Q	(14.87)	Q	4,921.08	Q	4,337.46
Q	(1,728,855.01)	143	Q	(568.75)	Q	(14.91)	Q	4,938.56	Q	4,354.89
Q	(1,724,482.68)	144	Q	(568.75)	Q	(14.95)	Q	4,956.03	Q	4,372.33
Q	(1,720,092.92)	145	Q	(568.75)	Q	(14.99)	Q	4,973.50	Q	4,389.76
Q	(1,715,685.72)	146	Q	(568.75)	Q	(15.03)	Q	4,990.98	Q	4,407.20
Q	(1,711,261.09)	147	Q	(568.75)	Q	(15.07)	Q	5,008.45	Q	4,424.63
Q	(1,706,819.03)	148	Q	(568.75)	Q	(15.11)	Q	5,025.93	Q	4,442.06
Q	(1,702,359.53)	149	Q	(568.75)	Q	(15.15)	Q	5,043.40	Q	4,459.50
Q	(1,697,882.60)	150	Q	(568.75)	Q	(15.19)	Q	5,060.88	Q	4,476.93
Q	(1,693,388.23)	151	Q	(568.75)	Q	(15.23)	Q	5,078.35	Q	4,494.37
Q	(1,688,876.43)	152	Q	(568.75)	Q	(15.27)	Q	5,095.82	Q	4,511.80
Q	(1,684,347.19)	153	Q	(568.75)	Q	(15.31)	Q	5,113.30	Q	4,529.24
Q	(1,679,800.52)	154	Q	(568.75)	Q	(15.35)	Q	5,130.77	Q	4,546.67
Q	(1,675,236.42)	155	Q	(568.75)	Q	(15.39)	Q	5,148.25	Q	4,564.10
Q	(1,670,654.88)	156	Q	(568.75)	Q	(15.43)	Q	5,165.72	Q	4,581.54
Q	(1,666,055.91)	157	Q	(568.75)	Q	(15.48)	Q	5,183.20	Q	4,598.97
Q	(1,661,439.51)	158	Q	(568.75)	Q	(15.52)	Q	5,200.67	Q	4,616.41
Q	(1,656,805.67)	159	Q	(568.75)	Q	(15.56)	Q	5,218.15	Q	4,633.84
Q	(1,652,154.39)	160	Q	(568.75)	Q	(15.60)	Q	5,235.62	Q	4,651.27
Q	(1,647,485.69)	161	Q	(568.75)	Q	(15.64)	Q	5,253.09	Q	4,668.71
Q	(1,642,799.54)	162	Q	(568.75)	Q	(15.68)	Q	5,270.57	Q	4,686.14
Q	(1,638,095.97)	163	Q	(568.75)	Q	(15.72)	Q	5,288.04	Q	4,703.58
Q	(1,633,374.96)	164	Q	(568.75)	Q	(15.76)	Q	5,305.52	Q	4,721.01
Q	(1,628,636.52)	165	Q	(568.75)	Q	(15.80)	Q	5,322.99	Q	4,738.44
Q	(1,623,880.64)	166	Q	(568.75)	Q	(15.84)	Q	5,340.47	Q	4,755.88
Q	(1,619,107.33)	167	Q	(568.75)	Q	(15.88)	Q	5,357.94	Q	4,773.31

Q	(1,614,316.58)	168	Q	(568.75)	Q	(15.92)	Q	5,375.41	Q	4,790.75
Q	(1,609,508.40)	169	Q	(568.75)	Q	(15.96)	Q	5,392.89	Q	4,808.18
Q	(1,604,682.79)	170	Q	(568.75)	Q	(16.00)	Q	5,410.36	Q	4,825.61
Q	(1,599,839.74)	171	Q	(568.75)	Q	(16.04)	Q	5,427.84	Q	4,843.05
Q	(1,594,979.26)	172	Q	(568.75)	Q	(16.08)	Q	5,445.31	Q	4,860.48
Q	(1,590,101.34)	173	Q	(568.75)	Q	(16.12)	Q	5,462.79	Q	4,877.92
Q	(1,585,205.99)	174	Q	(568.75)	Q	(16.16)	Q	5,480.26	Q	4,895.35
Q	(1,580,293.21)	175	Q	(568.75)	Q	(16.20)	Q	5,497.73	Q	4,912.78
Q	(1,575,362.99)	176	Q	(568.75)	Q	(16.24)	Q	5,515.21	Q	4,930.22
Q	(1,570,415.34)	177	Q	(568.75)	Q	(16.28)	Q	5,532.68	Q	4,947.65
Q	(1,565,450.25)	178	Q	(568.75)	Q	(16.32)	Q	5,550.16	Q	4,965.09
Q	(1,560,467.73)	179	Q	(568.75)	Q	(16.36)	Q	5,567.63	Q	4,982.52
Q	(1,555,467.78)	180	Q	(568.75)	Q	(16.40)	Q	5,585.11	Q	4,999.95
Q	(1,550,450.39)	181	Q	(568.75)	Q	(16.44)	Q	5,602.58	Q	5,017.39
Q	(1,545,415.57)	182	Q	(568.75)	Q	(16.48)	Q	5,620.06	Q	5,034.82
Q	(1,540,363.31)	183	Q	(568.75)	Q	(16.52)	Q	5,637.53	Q	5,052.26
Q	(1,535,293.62)	184	Q	(568.75)	Q	(16.56)	Q	5,655.00	Q	5,069.69
Q	(1,530,206.50)	185	Q	(568.75)	Q	(16.60)	Q	5,672.48	Q	5,087.12
Q	(1,525,101.94)	186	Q	(568.75)	Q	(16.64)	Q	5,689.95	Q	5,104.56
Q	(1,519,979.95)	187	Q	(568.75)	Q	(16.68)	Q	5,707.43	Q	5,121.99
Q	(1,514,840.52)	188	Q	(568.75)	Q	(16.72)	Q	5,724.90	Q	5,139.43
Q	(1,509,683.66)	189	Q	(568.75)	Q	(16.77)	Q	5,742.38	Q	5,156.86
Q	(1,504,509.37)	190	Q	(568.75)	Q	(16.81)	Q	5,759.85	Q	5,174.29
Q	(1,499,317.64)	191	Q	(568.75)	Q	(16.85)	Q	5,777.32	Q	5,191.73
Q	(1,494,108.48)	192	Q	(568.75)	Q	(16.89)	Q	5,794.80	Q	5,209.16
Q	(1,488,881.88)	193	Q	(568.75)	Q	(16.93)	Q	5,812.27	Q	5,226.60
Q	(1,483,637.85)	194	Q	(568.75)	Q	(16.97)	Q	5,829.75	Q	5,244.03
Q	(1,478,376.38)	195	Q	(568.75)	Q	(17.01)	Q	5,847.22	Q	5,261.46
Q	(1,473,097.49)	196	Q	(568.75)	Q	(17.05)	Q	5,864.70	Q	5,278.90
Q	(1,467,801.15)	197	Q	(568.75)	Q	(17.09)	Q	5,882.17	Q	5,296.33
Q	(1,462,487.39)	198	Q	(568.75)	Q	(17.13)	Q	5,899.64	Q	5,313.77
Q	(1,457,156.19)	199	Q	(568.75)	Q	(17.17)	Q	5,917.12	Q	5,331.20
Q	(1,451,807.55)	200	Q	(568.75)	Q	(17.21)	Q	5,934.59	Q	5,348.63
Q	(1,446,441.48)	201	Q	(568.75)	Q	(17.25)	Q	5,952.07	Q	5,366.07
Q	(1,441,057.98)	202	Q	(568.75)	Q	(17.29)	Q	5,969.54	Q	5,383.50
Q	(1,435,657.04)	203	Q	(568.75)	Q	(17.33)	Q	5,987.02	Q	5,400.94
Q	(1,430,238.67)	204	Q	(568.75)	Q	(17.37)	Q	6,004.49	Q	5,418.37
Q	(1,424,802.87)	205	Q	(568.75)	Q	(17.41)	Q	6,021.97	Q	5,435.80
Q	(1,419,349.63)	206	Q	(568.75)	Q	(17.45)	Q	6,039.44	Q	5,453.24
Q	(1,413,878.96)	207	Q	(568.75)	Q	(17.49)	Q	6,056.91	Q	5,470.67
Q	(1,408,390.85)	208	Q	(568.75)	Q	(17.53)	Q	6,074.39	Q	5,488.11
Q	(1,402,885.31)	209	Q	(568.75)	Q	(17.57)	Q	6,091.86	Q	5,505.54
Q	(1,397,362.33)	210	Q	(568.75)	Q	(17.61)	Q	6,109.34	Q	5,522.98
Q	(1,391,821.92)	211	Q	(568.75)	Q	(17.65)	Q	6,126.81	Q	5,540.41
Q	(1,386,264.08)	212	Q	(568.75)	Q	(17.69)	Q	6,144.29	Q	5,557.84
Q	(1,380,688.80)	213	Q	(568.75)	Q	(17.73)	Q	6,161.76	Q	5,575.28
Q	(1,375,096.09)	214	Q	(568.75)	Q	(17.77)	Q	6,179.23	Q	5,592.71
Q	(1,369,485.95)	215	Q	(568.75)	Q	(17.81)	Q	6,196.71	Q	5,610.15
Q	(1,363,858.37)	216	Q	(568.75)	Q	(17.85)	Q	6,214.18	Q	5,627.58
Q	(1,358,213.35)	217	Q	(568.75)	Q	(17.89)	Q	6,231.66	Q	5,645.01
Q	(1,352,550.91)	218	Q	(568.75)	Q	(17.93)	Q	6,249.13	Q	5,662.45
Q	(1,346,871.03)	219	Q	(568.75)	Q	(17.97)	Q	6,266.61	Q	5,679.88
Q	(1,341,173.71)	220	Q	(568.75)	Q	(18.02)	Q	6,284.08	Q	5,697.32
Q	(1,335,458.96)	221	Q	(568.75)	Q	(18.06)	Q	6,301.55	Q	5,714.75
Q	(1,329,726.78)	222	Q	(568.75)	Q	(18.10)	Q	6,319.03	Q	5,732.18
Q	(1,323,977.16)	223	Q	(568.75)	Q	(18.14)	Q	6,336.50	Q	5,749.62
Q	(1,318,210.11)	224	Q	(568.75)	Q	(18.18)	Q	6,353.98	Q	5,767.05
Q	(1,312,425.62)	225	Q	(568.75)	Q	(18.22)	Q	6,371.45	Q	5,784.49
Q	(1,306,623.70)	226	Q	(568.75)	Q	(18.26)	Q	6,388.93	Q	5,801.92
Q	(1,300,804.35)	227	Q	(568.75)	Q	(18.30)	Q	6,406.40	Q	5,819.35
Q	(1,294,967.56)	228	Q	(568.75)	Q	(18.34)	Q	6,423.88	Q	5,836.79
Q	(1,289,113.34)	229	Q	(568.75)	Q	(18.38)	Q	6,441.35	Q	5,854.22
Q	(1,283,241.69)	230	Q	(568.75)	Q	(18.42)	Q	6,458.82	Q	5,871.66
Q	(1,277,352.60)	231	Q	(568.75)	Q	(18.46)	Q	6,476.30	Q	5,889.09
Q	(1,271,446.07)	232	Q	(568.75)	Q	(18.50)	Q	6,493.77	Q	5,906.52
Q	(1,265,522.11)	233	Q	(568.75)	Q	(18.54)	Q	6,511.25	Q	5,923.96
Q	(1,259,580.72)	234	Q	(568.75)	Q	(18.58)	Q	6,528.72	Q	5,941.39
Q	(1,253,621.90)	235	Q	(568.75)	Q	(18.62)	Q	6,546.20	Q	5,958.83

Q	(1,247,645.64)	236	Q	(568.75)	Q	(18.66)	Q	6,563.67	Q	5,976.26
Q	(1,241,651.94)	237	Q	(568.75)	Q	(18.70)	Q	6,581.14	Q	5,993.69
Q	(1,235,640.82)	238	Q	(568.75)	Q	(18.74)	Q	6,598.62	Q	6,011.13
Q	(1,229,612.25)	239	Q	(568.75)	Q	(18.78)	Q	6,616.09	Q	6,028.56
Q	(1,223,566.26)	240	Q	(568.75)	Q	(18.82)	Q	6,633.57	Q	6,046.00
Q	(1,217,502.83)	241	Q	(568.75)	Q	(18.86)	Q	6,651.04	Q	6,063.43
Q	(1,211,421.96)	242	Q	(568.75)	Q	(18.90)	Q	6,668.52	Q	6,080.86
Q	(1,205,323.67)	243	Q	(568.75)	Q	(18.94)	Q	6,685.99	Q	6,098.30
Q	(1,199,207.93)	244	Q	(568.75)	Q	(18.98)	Q	6,703.46	Q	6,115.73
Q	(1,193,074.77)	245	Q	(568.75)	Q	(19.02)	Q	6,720.94	Q	6,133.17
Q	(1,186,924.17)	246	Q	(568.75)	Q	(19.06)	Q	6,738.41	Q	6,150.60
Q	(1,180,756.13)	247	Q	(568.75)	Q	(19.10)	Q	6,755.89	Q	6,168.03
Q	(1,174,570.66)	248	Q	(568.75)	Q	(19.14)	Q	6,773.36	Q	6,185.47
Q	(1,168,367.76)	249	Q	(568.75)	Q	(19.18)	Q	6,790.84	Q	6,202.90
Q	(1,162,147.43)	250	Q	(568.75)	Q	(19.22)	Q	6,808.31	Q	6,220.34
Q	(1,155,909.66)	251	Q	(568.75)	Q	(19.26)	Q	6,825.79	Q	6,237.77
Q	(1,149,654.45)	252	Q	(568.75)	Q	(19.31)	Q	6,843.26	Q	6,255.20
Q	(1,143,381.81)	253	Q	(568.75)	Q	(19.35)	Q	6,860.73	Q	6,272.64
Q	(1,137,091.74)	254	Q	(568.75)	Q	(19.39)	Q	6,878.21	Q	6,290.07
Q	(1,130,784.23)	255	Q	(568.75)	Q	(19.43)	Q	6,895.68	Q	6,307.51
Q	(1,124,459.29)	256	Q	(568.75)	Q	(19.47)	Q	6,913.16	Q	6,324.94
Q	(1,118,116.92)	257	Q	(568.75)	Q	(19.51)	Q	6,930.63	Q	6,342.37
Q	(1,111,757.11)	258	Q	(568.75)	Q	(19.55)	Q	6,948.11	Q	6,359.81
Q	(1,105,379.87)	259	Q	(568.75)	Q	(19.59)	Q	6,965.58	Q	6,377.24
Q	(1,098,985.19)	260	Q	(568.75)	Q	(19.63)	Q	6,983.05	Q	6,394.68
Q	(1,092,573.08)	261	Q	(568.75)	Q	(19.67)	Q	7,000.53	Q	6,412.11
Q	(1,086,143.54)	262	Q	(568.75)	Q	(19.71)	Q	7,018.00	Q	6,429.54
Q	(1,079,696.56)	263	Q	(568.75)	Q	(19.75)	Q	7,035.48	Q	6,446.98
Q	(1,073,232.14)	264	Q	(568.75)	Q	(19.79)	Q	7,052.95	Q	6,464.41
Q	(1,066,750.30)	265	Q	(568.75)	Q	(19.83)	Q	7,070.43	Q	6,481.85
Q	(1,060,251.02)	266	Q	(568.75)	Q	(19.87)	Q	7,087.90	Q	6,499.28
Q	(1,053,734.30)	267	Q	(568.75)	Q	(19.91)	Q	7,105.37	Q	6,516.71
Q	(1,047,200.15)	268	Q	(568.75)	Q	(19.95)	Q	7,122.85	Q	6,534.15
Q	(1,040,648.57)	269	Q	(568.75)	Q	(19.99)	Q	7,140.32	Q	6,551.58
Q	(1,034,079.55)	270	Q	(568.75)	Q	(20.03)	Q	7,157.80	Q	6,569.02
Q	(1,027,493.10)	271	Q	(568.75)	Q	(20.07)	Q	7,175.27	Q	6,586.45
Q	(1,020,889.22)	272	Q	(568.75)	Q	(20.11)	Q	7,192.75	Q	6,603.89
Q	(1,014,267.90)	273	Q	(568.75)	Q	(20.15)	Q	7,210.22	Q	6,621.32
Q	(1,007,629.14)	274	Q	(568.75)	Q	(20.19)	Q	7,227.70	Q	6,638.75
Q	(1,000,972.96)	275	Q	(568.75)	Q	(20.23)	Q	7,245.17	Q	6,656.19
Q	(994,299.34)	276	Q	(568.75)	Q	(20.27)	Q	7,262.64	Q	6,673.62
Q	(987,608.28)	277	Q	(568.75)	Q	(20.31)	Q	7,280.12	Q	6,691.06
Q	(980,899.79)	278	Q	(568.75)	Q	(20.35)	Q	7,297.59	Q	6,708.49
Q	(974,173.87)	279	Q	(568.75)	Q	(20.39)	Q	7,315.07	Q	6,725.92
Q	(967,430.51)	280	Q	(568.75)	Q	(20.43)	Q	7,332.54	Q	6,743.36
Q	(960,669.72)	281	Q	(568.75)	Q	(20.47)	Q	7,350.02	Q	6,760.79
Q	(953,891.49)	282	Q	(568.75)	Q	(20.51)	Q	7,367.49	Q	6,778.23
Q	(947,095.84)	283	Q	(568.75)	Q	(20.55)	Q	7,384.96	Q	6,795.66
Q	(940,282.74)	284	Q	(568.75)	Q	(20.60)	Q	7,402.44	Q	6,813.09
Q	(933,452.21)	285	Q	(568.75)	Q	(20.64)	Q	7,419.91	Q	6,830.53
Q	(926,604.25)	286	Q	(568.75)	Q	(20.68)	Q	7,437.39	Q	6,847.96
Q	(919,738.86)	287	Q	(568.75)	Q	(20.72)	Q	7,454.86	Q	6,865.40
Q	(912,856.03)	288	Q	(568.75)	Q	(20.76)	Q	7,472.34	Q	6,882.83
Q	(905,955.76)	289	Q	(568.75)	Q	(20.80)	Q	7,489.81	Q	6,900.26
Q	(899,038.07)	290	Q	(568.75)	Q	(20.84)	Q	7,507.28	Q	6,917.70
Q	(892,102.94)	291	Q	(568.75)	Q	(20.88)	Q	7,524.76	Q	6,935.13
Q	(885,150.37)	292	Q	(568.75)	Q	(20.92)	Q	7,542.23	Q	6,952.57
Q	(878,180.37)	293	Q	(568.75)	Q	(20.96)	Q	7,559.71	Q	6,970.00
Q	(871,192.94)	294	Q	(568.75)	Q	(21.00)	Q	7,577.18	Q	6,987.43
Q	(864,188.07)	295	Q	(568.75)	Q	(21.04)	Q	7,594.66	Q	7,004.87
Q	(857,165.77)	296	Q	(568.75)	Q	(21.08)	Q	7,612.13	Q	7,022.30
Q	(850,126.03)	297	Q	(568.75)	Q	(21.12)	Q	7,629.60	Q	7,039.74
Q	(843,068.86)	298	Q	(568.75)	Q	(21.16)	Q	7,647.08	Q	7,057.17
Q	(835,994.26)	299	Q	(568.75)	Q	(21.20)	Q	7,664.55	Q	7,074.60
Q	(828,902.22)	300	Q	(568.75)	Q	(21.24)	Q	7,682.03	Q	7,092.04
Q	(821,792.75)	301	Q	(568.75)	Q	(21.28)	Q	7,699.50	Q	7,109.47
Q	(814,665.84)	302	Q	(568.75)	Q	(21.32)	Q	7,716.98	Q	7,126.91
Q	(807,521.50)	303	Q	(568.75)	Q	(21.36)	Q	7,734.45	Q	7,144.34

Q	(800,359.73)	304	Q	(568.75)	Q	(21.40)	Q	7,751.93	Q	7,161.77
Q	(793,180.52)	305	Q	(568.75)	Q	(21.44)	Q	7,769.40	Q	7,179.21
Q	(785,983.88)	306	Q	(568.75)	Q	(21.48)	Q	7,786.87	Q	7,196.64
Q	(778,769.80)	307	Q	(568.75)	Q	(21.52)	Q	7,804.35	Q	7,214.08
Q	(771,538.29)	308	Q	(568.75)	Q	(21.56)	Q	7,821.82	Q	7,231.51
Q	(764,289.35)	309	Q	(568.75)	Q	(21.60)	Q	7,839.30	Q	7,248.94
Q	(757,022.97)	310	Q	(568.75)	Q	(21.64)	Q	7,856.77	Q	7,266.38
Q	(749,739.16)	311	Q	(568.75)	Q	(21.68)	Q	7,874.25	Q	7,283.81
Q	(742,437.91)	312	Q	(568.75)	Q	(21.72)	Q	7,891.72	Q	7,301.25
Q	(735,119.23)	313	Q	(568.75)	Q	(21.76)	Q	7,909.19	Q	7,318.68
Q	(727,783.11)	314	Q	(568.75)	Q	(21.80)	Q	7,926.67	Q	7,336.11
Q	(720,429.57)	315	Q	(568.75)	Q	(21.84)	Q	7,944.14	Q	7,353.55
Q	(713,058.58)	316	Q	(568.75)	Q	(21.89)	Q	7,961.62	Q	7,370.98
Q	(705,670.17)	317	Q	(568.75)	Q	(21.93)	Q	7,979.09	Q	7,388.42
Q	(698,264.32)	318	Q	(568.75)	Q	(21.97)	Q	7,996.57	Q	7,405.85
Q	(690,841.03)	319	Q	(568.75)	Q	(22.01)	Q	8,014.04	Q	7,423.28
Q	(683,400.31)	320	Q	(568.75)	Q	(22.05)	Q	8,031.51	Q	7,440.72
Q	(675,942.16)	321	Q	(568.75)	Q	(22.09)	Q	8,048.99	Q	7,458.15
Q	(668,466.57)	322	Q	(568.75)	Q	(22.13)	Q	8,066.46	Q	7,475.59
Q	(660,973.55)	323	Q	(568.75)	Q	(22.17)	Q	8,083.94	Q	7,493.02
Q	(653,463.10)	324	Q	(568.75)	Q	(22.21)	Q	8,101.41	Q	7,510.45
Q	(645,935.21)	325	Q	(568.75)	Q	(22.25)	Q	8,118.89	Q	7,527.89
Q	(638,389.89)	326	Q	(568.75)	Q	(22.29)	Q	8,136.36	Q	7,545.32
Q	(630,827.13)	327	Q	(568.75)	Q	(22.33)	Q	8,153.84	Q	7,562.76
Q	(623,246.94)	328	Q	(568.75)	Q	(22.37)	Q	8,171.31	Q	7,580.19
Q	(615,649.31)	329	Q	(568.75)	Q	(22.41)	Q	8,188.78	Q	7,597.62
Q	(608,034.26)	330	Q	(568.75)	Q	(22.45)	Q	8,206.26	Q	7,615.06
Q	(600,401.76)	331	Q	(568.75)	Q	(22.49)	Q	8,223.73	Q	7,632.49
Q	(592,751.84)	332	Q	(568.75)	Q	(22.53)	Q	8,241.21	Q	7,649.93
Q	(585,084.47)	333	Q	(568.75)	Q	(22.57)	Q	8,258.68	Q	7,667.36
Q	(577,399.68)	334	Q	(568.75)	Q	(22.61)	Q	8,276.16	Q	7,684.80
Q	(569,697.45)	335	Q	(568.75)	Q	(22.65)	Q	8,293.63	Q	7,702.23
Q	(561,977.79)	336	Q	(568.75)	Q	(22.69)	Q	8,311.10	Q	7,719.66
Q	(554,240.69)	337	Q	(568.75)	Q	(22.73)	Q	8,328.58	Q	7,737.10
Q	(546,486.16)	338	Q	(568.75)	Q	(22.77)	Q	8,346.05	Q	7,754.53
Q	(538,714.19)	339	Q	(568.75)	Q	(22.81)	Q	8,363.53	Q	7,771.97
Q	(530,924.80)	340	Q	(568.75)	Q	(22.85)	Q	8,381.00	Q	7,789.40
Q	(523,117.96)	341	Q	(568.75)	Q	(22.89)	Q	8,398.48	Q	7,806.83
Q	(515,293.69)	342	Q	(568.75)	Q	(22.93)	Q	8,415.95	Q	7,824.27
Q	(507,451.99)	343	Q	(568.75)	Q	(22.97)	Q	8,433.42	Q	7,841.70
Q	(499,592.86)	344	Q	(568.75)	Q	(23.01)	Q	8,450.90	Q	7,859.14
Q	(491,716.29)	345	Q	(568.75)	Q	(23.05)	Q	8,468.37	Q	7,876.57
Q	(483,822.28)	346	Q	(568.75)	Q	(23.09)	Q	8,485.85	Q	7,894.00
Q	(475,910.85)	347	Q	(568.75)	Q	(23.13)	Q	8,503.32	Q	7,911.44
Q	(467,981.98)	348	Q	(568.75)	Q	(23.18)	Q	8,520.80	Q	7,928.87
Q	(460,035.67)	349	Q	(568.75)	Q	(23.22)	Q	8,538.27	Q	7,946.31
Q	(452,071.93)	350	Q	(568.75)	Q	(23.26)	Q	8,555.75	Q	7,963.74
Q	(444,090.76)	351	Q	(568.75)	Q	(23.30)	Q	8,573.22	Q	7,981.17
Q	(436,092.15)	352	Q	(568.75)	Q	(23.34)	Q	8,590.69	Q	7,998.61
Q	(428,076.11)	353	Q	(568.75)	Q	(23.38)	Q	8,608.17	Q	8,016.04
Q	(420,042.63)	354	Q	(568.75)	Q	(23.42)	Q	8,625.64	Q	8,033.48
Q	(411,991.72)	355	Q	(568.75)	Q	(23.46)	Q	8,643.12	Q	8,050.91
Q	(403,923.38)	356	Q	(568.75)	Q	(23.50)	Q	8,660.59	Q	8,068.34
Q	(395,837.60)	357	Q	(568.75)	Q	(23.54)	Q	8,678.07	Q	8,085.78
Q	(387,734.39)	358	Q	(568.75)	Q	(23.58)	Q	8,695.54	Q	8,103.21
Q	(379,613.74)	359	Q	(568.75)	Q	(23.62)	Q	8,713.01	Q	8,120.65
Q	(371,475.66)	360	Q	(568.75)	Q	(23.66)	Q	8,730.49	Q	8,138.08
Q	(363,320.15)	361	Q	(568.75)	Q	(23.70)	Q	8,747.96	Q	8,155.51
Q	(355,147.20)	362	Q	(568.75)	Q	(23.74)	Q	8,765.44	Q	8,172.95
Q	(346,956.82)	363	Q	(568.75)	Q	(23.78)	Q	8,782.91	Q	8,190.38
Q	(338,749.00)	364	Q	(568.75)	Q	(23.82)	Q	8,800.39	Q	8,207.82
Q	(330,523.75)	365	Q	(568.75)	Q	(23.86)	Q	8,817.86	Q	8,225.25
Q	(322,281.07)	366	Q	(568.75)	Q	(23.90)	Q	8,835.33	Q	8,242.68
Q	(314,020.95)	367	Q	(568.75)	Q	(23.94)	Q	8,852.81	Q	8,260.12
Q	(305,743.40)	368	Q	(568.75)	Q	(23.98)	Q	8,870.28	Q	8,277.55
Q	(297,448.41)	369	Q	(568.75)	Q	(24.02)	Q	8,887.76	Q	8,294.99
Q	(289,135.99)	370	Q	(568.75)	Q	(24.06)	Q	8,905.23	Q	8,312.42
Q	(280,806.14)	371	Q	(568.75)	Q	(24.10)	Q	8,922.71	Q	8,329.85

Q	(272,458.85)	372	Q	(568.75)	Q	(24.14)	Q	8,940.18	Q	8,347.29
Q	(264,094.13)	373	Q	(568.75)	Q	(24.18)	Q	8,957.66	Q	8,364.72
Q	(255,711.97)	374	Q	(568.75)	Q	(24.22)	Q	8,975.13	Q	8,382.16
Q	(247,312.38)	375	Q	(568.75)	Q	(24.26)	Q	8,992.60	Q	8,399.59
Q	(238,895.36)	376	Q	(568.75)	Q	(24.30)	Q	9,010.08	Q	8,417.02
Q	(230,460.90)	377	Q	(568.75)	Q	(24.34)	Q	9,027.55	Q	8,434.46
Q	(222,009.01)	378	Q	(568.75)	Q	(24.38)	Q	9,045.03	Q	8,451.89
Q	(213,539.68)	379	Q	(568.75)	Q	(24.42)	Q	9,062.50	Q	8,469.33
Q	(205,052.92)	380	Q	(568.75)	Q	(24.47)	Q	9,079.98	Q	8,486.76
Q	(196,548.72)	381	Q	(568.75)	Q	(24.51)	Q	9,097.45	Q	8,504.19
Q	(188,027.10)	382	Q	(568.75)	Q	(24.55)	Q	9,114.92	Q	8,521.63
Q	(179,488.03)	383	Q	(568.75)	Q	(24.59)	Q	9,132.40	Q	8,539.06
Q	(170,931.54)	384	Q	(568.75)	Q	(24.63)	Q	9,149.87	Q	8,556.50
Q	(162,357.61)	385	Q	(568.75)	Q	(24.67)	Q	9,167.35	Q	8,573.93
Q	(153,766.24)	386	Q	(568.75)	Q	(24.71)	Q	9,184.82	Q	8,591.36
Q	(145,157.44)	387	Q	(568.75)	Q	(24.75)	Q	9,202.30	Q	8,608.80
Q	(136,531.21)	388	Q	(568.75)	Q	(24.79)	Q	9,219.77	Q	8,626.23
Q	(127,887.54)	389	Q	(568.75)	Q	(24.83)	Q	9,237.24	Q	8,643.67
Q	(119,226.44)	390	Q	(568.75)	Q	(24.87)	Q	9,254.72	Q	8,661.10
Q	(110,547.91)	391	Q	(568.75)	Q	(24.91)	Q	9,272.19	Q	8,678.53
Q	(101,851.94)	392	Q	(568.75)	Q	(24.95)	Q	9,289.67	Q	8,695.97
Q	(93,138.53)	393	Q	(568.75)	Q	(24.99)	Q	9,307.14	Q	8,713.40
Q	(84,407.70)	394	Q	(568.75)	Q	(25.03)	Q	9,324.62	Q	8,730.84
Q	(75,659.43)	395	Q	(568.75)	Q	(25.07)	Q	9,342.09	Q	8,748.27
Q	(66,893.72)	396	Q	(568.75)	Q	(25.11)	Q	9,359.57	Q	8,765.71
Q	(58,110.58)	397	Q	(568.75)	Q	(25.15)	Q	9,377.04	Q	8,783.14
Q	(49,310.01)	398	Q	(568.75)	Q	(25.19)	Q	9,394.51	Q	8,800.57
Q	(40,492.00)	399	Q	(568.75)	Q	(25.23)	Q	9,411.99	Q	8,818.01
Q	(31,656.56)	400	Q	(568.75)	Q	(25.27)	Q	9,429.46	Q	8,835.44
Q	(22,803.69)	401	Q	(568.75)	Q	(25.31)	Q	9,446.94	Q	8,852.88
Q	(13,933.38)	402	Q	(568.75)	Q	(25.35)	Q	9,464.41	Q	8,870.31
Q	(5,045.63)	403	Q	(568.75)	Q	(25.39)	Q	9,481.89	Q	8,887.74
Q	3,859.54	404	Q	(568.75)	Q	(25.43)	Q	9,499.36	Q	8,905.18
Q	12,782.16	405	Q	(568.75)	Q	(25.47)	Q	9,516.83	Q	8,922.61