



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE  
HIDROGENO PARA LA COGENERACIÓN CON BIOGÁS A PARTIR  
DE AGUA HIDROLIZADA EN EL BARRIO 6 DE DICIEMBRE - COCA  
2016"**

**Trabajo de titulación previo la obtención del título de:  
INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORES: MANUEL ANDRÉS AGUILAR GUAMÁN**

**JAIME OSWALDO CUVI CHUCHO**

**TUTOR: DR. FAUSTO MANOLO YAULEMA GARCÉS**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**2016**

## CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL

El Tribunal del Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: "**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR DE HIDROGENO PARA LA COGENERACIÓN CON BIOGÁS A PARTIR DE AGUA HIDROLIZADA EN EL BARRIO 6 DE DICIEMBRE - COCA 2016.**", de responsabilidad de los Sres. Egresados Manuel Andrés Aguilar Guamán y Jaime Oswaldo Cuvi Chucho ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Fausto Manolo Yaulema Garcés

**DIRECTOR**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Dr. Celso Recalde

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Riobamba 2016**

Nosotros, Manuel Andrés Aguilar Guamán y Jaime Oswaldo Cuvi Chucho somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación: y el patrimonio intelectual del Trabajo de titulación, pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**.

---

**Manuel Andrés Aguilar Guamán**

---

**Jaime Oswaldo Cuvi Chucho**

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros Manuel Andrés Aguilar Guamán y Jaime Oswaldo Cuvi Chucho, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 19 de Agosto del 2016

---

**Manuel Andrés Aguilar Guamán**

**CI:** 1600385775

---

**Jaime Oswaldo Cuvi Chucho**

**CI:** 0603331307

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación a mi querida madre Teresa de Jesús Guamán, a Yomira Acuña Guamán mi hermana, a aquellas personas que me brindaron su apoyo incondicional en esta etapa tan importante de mi vida como son: Lourdes Chillo, Manuel Cuvi, Olimpia Chucho y demás personas que de alguna manera han contribuido a que pueda alcanzar este logro, porque son las personas que me respaldaron en las buenas y las malas ya sea con apoyo económico, moral, afectivo, dentro de la transición de la ingeniería, la que conlleva muchos retos y sacrificios, a veces el cansancio conlleva al abandono de la meta, pero aquellas personas me enseñaron a luchar por un ideal, a jamás darme por vencido sin importar lo difícil que fuesen las situaciones. Al llegar al final de la transición, todo el esfuerzo y la dedicación se ven reflejadas en la obtención de mi título académico de Ingeniería en Biotecnología Ambiental.

**Manuel**

Dedico este trabajo de titulación a mis padres Manuel Cuvi Galora y Olimpia Chucho Ramírez quienes con su amor y paciencia supieron educarme hasta concluir mi carrera universitaria con éxito. Con mucha sencillez dedico en memoria de mis abuelitos quienes fueron un ejemplo de lucha y perseverancia. A mis hermanos que de una u otra manera siempre estuvieron apoyándome, siempre serán la base fundamental en el transcurso de toda mi vida. A todos mis compañeros, amigos y familiares que con su actitud me motivaron a seguir adelante, siempre los recordare.

**Jaime**

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro extenso agradecimiento de todo corazón a nuestros padres por incentivarnos luchar por nuestros objetivos a seguir nuestras metas y volverlas realidad y cumplir nuestro sueño tan anhelado que es culminar nuestra carrera profesional. Y que, con su amor, cariño, paciencia y sus consejos nos supieron encaminar por el sendero del buen camino.

Con eterna gratitud a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, de manera particular a la Carrera de Ing. Biotecnología Ambiental por facilitar la oportunidad de formarnos para nuestro futuro como Ingenieros en Biotecnología Ambiental.

A los docentes de la Escuela de Ciencias Químicas por educarnos para nuestra formación profesional. En especial a los docentes guías en nuestro trabajo de titulación quienes con su tiempo, entendimiento y experiencias nos orientaron en el desarrollo de este trabajo de titulación.

A nuestros compañeros y amigos que trascendieron compartiendo experiencias inolvidables en este trayecto muy importantes de nuestras vidas, pasando buenos y malos instantes junto a ustedes.

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	4
1. MARCO TEÓRICO .....	4
1.1 Mezcla .....	4
1.1.1 Mezcla de gases .....	4
1.2 Generador de hidrógeno de hidrólisis .....	5
1.2.1 Indicaciones a tener en cuenta .....	6
1.2.2 Celda del generador de hidrógeno de hidrólisis .....	6
1.2.3 Reacciones de electrolisis del agua.....	7
1.3 Electrolito.....	7
1.3.1 Hidróxido de sodio .....	7
1.4 El hidrógeno.....	9
1.4.1 Propiedades del hidrógeno como combustible. ....	9
1.5 Hidroxi .....	10
1.6 Biogás .....	11
1.7 Marco referencial.....	12
CAPÍTULO II .....	13
2. CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR.....	13

<b>2.1</b>	<b>Prototipos de generador</b> .....	13
2.1.1	<i>Generador de varillas</i> .....	13
2.1.2	<i>Generador de mallas</i> .....	14
2.1.3	<i>Selección del prototipo de generador</i> .....	14
<b>2.2</b>	<b>Materia prima y materiales del generador de hidrógeno de hidrolisis</b> .....	15
2.2.1	<i>Materias utilizadas para generación</i> .....	15
2.2.2	<i>Materiales para la construcción del generador de hidrógeno de hidrolisis</i> .....	15
2.2.3	<i>Materiales para la construcción del biodigestor a escala</i> .....	16
<b>2.3</b>	<b>Construcción del generador de hidrógeno de hidrolisis</b> .....	16
2.3.1	<i>Componentes</i> .....	16
2.3.2	<i>Procedimiento de construcción del generador</i> .....	23
2.3.3	<i>Funcionamiento</i> .....	30
2.3.4	<i>Procedimiento de generación de hidroxi</i> .....	31
<b>2.4</b>	<b>Construcción del biodigestor</b> .....	32
2.4.1	<i>Componentes de biodigestor</i> .....	32
2.4.2	<i>Procedimiento de construcción del biodigestor</i> .....	34
2.4.3	<i>Funcionamiento</i> .....	35
2.4.4	<i>Procedimiento de generación de biogás</i> .....	35
<b>2.5</b>	<b>Metodología</b> .....	36
2.5.1	<i>Procedimiento para la determinación del tamaño de muestra</i> .....	36
2.5.2	<i>Procedimiento para la selección de muestra</i> .....	36
2.5.3	<i>Procedimiento para la determinación de la temperatura</i> .....	37
2.5.4	<i>Procedimiento para preparar una disolución de NaOH</i> .....	37
2.5.5	<i>Procedimientos de los métodos de recolección de datos</i> .....	40
<b>2.6</b>	<b>Pruebas de la producción de hidroxi</b> .....	41
2.6.1	<i>Medición de la producción de hidroxi</i> .....	41
2.6.2	<i>Resultados de la medición de la producción de hidroxi</i> .....	43
<b>2.7</b>	<b>Prueba de flama</b> .....	44
2.7.1	<i>Mezclas para la prueba de flama</i> .....	44
2.7.2	<i>Procedimiento para la prueba de flama</i> .....	45
2.7.3	<i>Características de la llama en las prueba de flama</i> .....	46
<b>CAPÍTULO III</b> .....		48
<b>3.</b>	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS</b> .....	48

<b>3.1</b>	<b>Dimensionamiento del generador de hidrógeno de hidrólisis .....</b>	<b>48</b>
<b>3.1.1</b>	<b><i>Cantidad de disolución de hidróxido de sodio .....</i></b>	<b>48</b>
<b>3.1.2</b>	<b><i>Volumen del generador de hidrógeno de hidrólisis .....</i></b>	<b>48</b>
3.1.2.1	Calculo del volumen total del generador de hidrógeno de hidrólisis .....	49
3.1.2.2	Dimensionamiento del generador de hidrógeno de hidrólisis a partir del volumen .....	49
<b>3.3</b>	<b>Calculo de las celdas de generación .....</b>	<b>50</b>
<b>3.3.1</b>	<b><i>Calculo del área neta por cada placa de celda .....</i></b>	<b>50</b>
<b>3.3.2</b>	<b><i>Calculo del voltaje consumido por cada celda .....</i></b>	<b>51</b>
<b>3.3.3</b>	<b><i>Calculo del número de celdas .....</i></b>	<b>52</b>
<b>3.4</b>	<b>Calculo de producción de hidroxí .....</b>	<b>53</b>
<b>3.5</b>	<b>Cálculos teóricos del poder calorífico .....</b>	<b>54</b>
<b>3.5.1</b>	<b><i>Cálculo teórico del poder calorífico del hidroxí .....</i></b>	<b>54</b>
<b>3.5.2</b>	<b><i>Cálculo del poder calorífico teórico del Aguilar-JC74 al 5% .....</i></b>	<b>55</b>
<b>3.5.3</b>	<b><i>Cálculo del poder calorífico teórico del Aguilar-JC74 al 10% .....</i></b>	<b>55</b>
<b>3.5.4</b>	<b><i>Cálculo del poder calorífico teórico del Aguilar-JC74 al 15% .....</i></b>	<b>56</b>
<b>3.5.5</b>	<b><i>Comparación de la mejora del Aguilar-JC74-10% respecto al biogás .....</i></b>	<b>56</b>
<b>3.6</b>	<b>Análisis de los resultados .....</b>	<b>57</b>
<b>3.6.2</b>	<b><i>Análisis del poder calorífico teórico .....</i></b>	<b>57</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>59</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>60</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Propiedades del hidróxido de sodio.....	8
<b>Tabla 2-1:</b> Octanaje de combustibles.....	10
<b>Tabla 3-1:</b> Comparativo del biogás con otros combustibles.....	11
<b>Tabla 1-2:</b> Materiales para el generador de hidrógeno de hidrólisis.....	15
<b>Tabla 2-2:</b> Materiales para el biodigestor a escala.....	16
<b>Tabla 3-2:</b> Producción de hidroxí.....	43
<b>Tabla 4-2:</b> Mezclas.....	44
<b>Tabla 1-3:</b> Relación del poder calorífico de algunas sustancias.....	54

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 1-1:</b> Generador de hidrógeno .....	5
<b>Fotografía 2-1:</b> Celdas del generador.....	6
<b>Fotografía 3-1:</b> Presentación comercial del hidróxido de sodio.....	8
<b>Fotografía 4-1:</b> Producción de hidroxí.....	11
<b>Fotografía 5-1:</b> Ubicación del proyecto de investigación.....	12
<b>Fotografía 1-2:</b> Generador de varillas.....	13
<b>Fotografía 2-2:</b> Generador de varillas.....	14
<b>Fotografía 3-2:</b> Malla galvanizada.....	17
<b>Fotografía 4-2:</b> Aislante.....	17
<b>Fotografía 5-2:</b> Pernos y tuercas.....	18
<b>Fotografía 6-2:</b> Placas de tol.....	18
<b>Fotografía 7-2:</b> Agua.....	19
<b>Fotografía 8-2:</b> Hidróxido de sodio.....	20
<b>Fotografía 9-2:</b> Carcasa.....	20
<b>Fotografía 10-2:</b> Manguera clonada.....	21
<b>Fotografía 11-2:</b> Llave de paso.....	21
<b>Fotografía 12-2:</b> Ye formadora.....	22
<b>Fotografía 13-2:</b> Arresta llamas.....	22
<b>Fotografía 14-2:</b> Pico de combustión.....	22
<b>Fotografía 15-2:</b> Puentes interconectores.....	23
<b>Fotografía 16-2:</b> Silicona.....	23
<b>Fotografía 17-2:</b> Placas de malla.....	25
<b>Fotografía 18-2:</b> Topes de separación.....	25
<b>Fotografía 19-2:</b> Armado de celdas.....	26
<b>Fotografía 20-2:</b> Interconexión.....	28
<b>Fotografía 21-2:</b> Generador de hidrógeno de hidrólisis.....	28
<b>Fotografía 22-2:</b> Mangueras.....	29
<b>Fotografía 23-2:</b> Reductor de voltaje.....	30
<b>Fotografía 24-2:</b> Contenedor.....	32
<b>Fotografía 25-2:</b> Tapa.....	33
<b>Fotografía 26-2:</b> Acople.....	33

<b>Fotografía 27-2:</b> Llave de paso.....	34
<b>Fotografía 28-2:</b> Pesado del NaOH.....	37
<b>Fotografía 29-2:</b> Carcasa con agua.....	38
<b>Fotografía 30-2:</b> Dilución del NaOH.....	38
<b>Fotografía 31-2:</b> Nivelado del volumen de la disolución.....	39
<b>Fotografía 32-2:</b> Peso de la presentación comercial.....	39
<b>Fotografía 33-2:</b> Método de la probeta invertida.....	41
<b>Fotografía 34-2:</b> Llenado con hidroxí.....	41
<b>Fotografía 35-2:</b> Medición del volumen.....	41
<b>Fotografía 36-2:</b> Concentración del hidroxí en un 5%.....	46
<b>Fotografía 37-2:</b> Concentración del hidroxí en un 10%.....	46
<b>Fotografía 38-2:</b> Concentración del hidroxí en un 15%.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Esquema de una mezcla .....	4
<b>Figura 2-1:</b> Esquema de transporte en la difusión molecular .....	5

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Grafico 1-1:</b> Grafico comparativo del Pci del biogás y biogás potenciado.....	58
---	----

.

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A.** Valores tabulados para los cálculos teóricos.

**ANEXO B.** Fotografías del proceso de construcción del prototipo.

**ANEXO C.** Costes de materiales

**ANEXO D.** Fichas internacionales de seguridad química del hidróxido de sodio

**ANEXO E.** Planos del generador

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>NaOH</b>	Hidróxido de sodio
<b>NaCl</b>	Cloruro de sodio
<b>INEN</b>	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización
<b>KW</b>	Kilo vatios
<b>vs</b>	Versus
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>Pci</b>	Poder calorífico inferior
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>L/h</b>	Litro por hora
<b>L/min</b>	Litro por minuto
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	Metros cúbicos por hora
<b>kcal/m<sup>3</sup></b>	Kilo calorías por metro cubico
<b>H<sub>2</sub></b>	Hidrógeno molecular
<b>kcal/ kg</b>	Kilo calorías por kilogramo
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Agua
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxígeno molecular
<b>O</b>	Oxígeno
<b>NO<sub>x</sub></b>	Nitratos
<b>OH-</b>	Hidróxido
<b>H<sub>3</sub>O+</b>	Ion Hidronio
<b>TPN</b>	Temperatura, presión normal
<b>Inox</b>	Inoxidable
<b>A</b>	Amperio
<b>UTM</b>	Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator
<b>V</b>	Voltio
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Gramo por centímetro cubico
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo por metro cubico
<b>g/mol</b>	Gramo por mol
<b>HHO</b>	Hidroxi

<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cubico
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>g</b>	Gramo
<b>e<sup>-</sup></b>	Electrón
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>Pulg</b>	Pulgada
<b>mm</b>	Milímetro
<b>cm</b>	Centímetro
<b>Aguilar-JC74</b>	Apellido autor - Jaime Cuvi, periodo académico 7 años, 4 de la tarde fin de la malla
<b>Vd</b>	Volumen de disolución
<b>Vc</b>	Volumen de la cámara
<b>Plg</b>	Peso de la legía sello rojo
<b>Vr</b>	Volumen real
<b>S</b>	Área conductora
<b>I</b>	Intensidad de corriente
<b>Tc</b>	Tención en celda
<b>BHHOp</b>	Promedio de producción de hidroxí
<b>BHHOm</b>	Producción máxima de hidroxí
<b>BHHO</b>	Promedio de producción total de hidroxí

## RESUMEN

Se realizó el diseño y la construcción de un generador de hidrógeno de hidrólisis para mejorar la calidad del biogás. Se realizó las siguientes mezclas: 5%, 10% y 15% del hidroxí con el biogás y se sometió a una prueba de flama para observar el desarrollo de la combustión del biogás potenciado Aguilar-JC74. Se diseñó y construyó el prototipo experimental, mediante la aplicación de técnicas cuantitativas y experimentales, se realizó la medición y cálculo de los parámetros como las dimensiones, número de celdas y volumen del prototipo. Posteriormente se llevó a cabo la medición de la producción de hidroxí mediante el método de la probeta invertida y se determinó el cambio del biogás potenciado a través de la prueba de la flama. Las dimensiones finales obtenidas para el generador de hidrógeno de hidrólisis fueron: Volumen total de 12,96L, alto de 18cm, largo de 30cm, ancho de 24cm, altura de seguridad de 5cm, 9 celdas, cada una contiene 5 placas, pero solo una es electrificada con el polo correspondiente. Para mejorar el poder calorífico del biogás se realizó las siguientes mezclas: 5%, 10% y 15% de hidroxí con el biogás, a las cuales se sometió a la prueba de flama; la mezcla de mejores características de combustión fue la de concentración del 10% de hidroxí y 90% de biogás. Relacionando el poder calorífico teórico tanto del biogás de 5335 kcal/m<sup>3</sup>, como del Aguilar-JC74 de 10820,7 kcal/m<sup>3</sup>, se refleja una mejora en el poder calorífico. Esta tecnología se ha visto limitada por el alto consumo energético para la producción del hidroxí a gran escala, por lo que se recomienda seguir investigando otros métodos de producción que implique un menor costo energético.

### Palabras Claves:

<TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA AMBIENTAL>, <MEDIO AMBIENTE>, <GENERADOR DE HIDRÓGENO DE HIDRÓLISIS > <HIDROXI> <BIOGÁS POTENCIADO> <PRUEBA DE FLAMA> <PODER CALORÍFICO>

## **ABSTRACT**

The design and construction of a hydrogen generator hydrolysis was carried out to improve the quality of biogas. The following mixtures was performed: 5%, 10% and 15% of the hydroxy with biogas and it subjected to a flameproof to observe the development of the combustion of biogas powered Aguilar-JC74. It designed and built the experimental prototype, by applying quantitative and experimental techniques, it made the measurement and calculation of parameters such as size, cell numbers and volume of the prototype. Subsequently it carried out the measurement of the production of hydroxy by the method of the invert test tube and determined the change of biogas powered through the flame test. The final dimensions obtained for the hydrogen generator of hydrolysis were: total volume of 12.96 L, height 18 cm, length 30cm, width 24 cm, 9 cells, each containing 5 plates, but only one is electrified with the corresponding pole. To improve the calorific value of the biogas was held the following mixtures: 5%, 10% and 15% of hydroxy with biogas, to which the evidence was subjected to the flameproof; the mixing of the best combustion characteristics was the concentration of 10% of hydroxy and 90% of biogas. Linking the calorific theoretical power of both biogas  $5,335 \text{ kcal/m}^3$ , as the Aguilar-JC74 of  $10,820.7 \text{ kcal/m}^3$ , it reflects an improvement in calorific power. This technology has been limited by the high energy consumption for the production of hydroxy to large scale, so it is recommended to further investigate other production methods involving lower energy cost.

### **Keywords:**

TECHNOLOGY AND SCIENCE ENGINEERING, ENVIRONMENTAL ENGINEERING, ENVIRONMENT, HYDROGEN GENERATOR HYDROLYSIS, HYDROXY, BIOGAS POWERED, FLAME TEST, CALORIFIC POWER.

## **INTRODUCCIÓN**

Hoy en día las necesidades de una fuente de energía alternativa se hace más evidente, ya que los recursos no renovables que son la fuente principal en el desarrollo de las actividades de nuestra sociedad actual, se van agotándose poco a poco, debido a su uso prolongado por ello se hace necesario la búsqueda de otras fuentes de energía.

Al investigar se ha visto el gran potencial que nos ofrece el biogás como fuente de energía si se le mejorara, esto despertó en nosotros un gran interés en particular, por lo que ideamos una alternativa para su mejoramiento, la cual consiste en una mezcla de hidroxí con biogás, basado en el sistema dual-fuel (Benítez, A. & Ramos, M., 2013, p.4), ya que el hidroxí presenta excelentes propiedades como combustible alternativo.

Para mejorar el biogás se construyó un modelo de generador de hidrógeno de hidrólisis basado en el modelo de Benítez, A. & Ramos, M., 2013, p.6; nuestro generador de hidrógeno de hidrólisis usa como materia prima electricidad, agua e hidróxido de sodio lo que nos permite obtener el gas hidroxí, para poder realizar las mezclas con el biogás, para lograr el mejoramiento del poder calorífico del biogás.

A pesar de nuestros esfuerzos, el diseño de nuestro generador de hidrógeno de hidrólisis aun presenta un alto consumo energético, por lo que se recomienda usar nuestros datos y se continúe las investigaciones para poder hallar un método que nos ofrezca un menor consumo energético en la producción del hidroxí, ya que con el tiempo se podría lanzar proyectos a gran escala para la producción del biogás mejorado, el cual podría ser utilizado en las actividades domésticas e industriales.

## JUSTIFICACIÓN

El biogás en la naturaleza es abundante pero tiene un bajo poder calorífico, esto hace que sea poco aprovechado como fuente de energía, a pesar de su abundancia y fácil obtención. Lo que evidencia la falta de algún método para mejorar la calidad del biogás, por lo que presentamos el siguiente método basado en el sistema dual-fuel (Benítez, A. & Ramos, M., 2013, p.4), que consta en realizar una mezcla de hidrógeno con biogás y poder alcanzar un mejor poder calorífico en el biogás.

Se logró hacer esta mezcla realizando la construcción del generador de hidrógeno de hidrólisis, que permitió lograr generar hidrógeno, con esto se logró realizar 3 mezclas, una de las cuales es la más idónea para que mejore la calidad del biogás, potenciándolo de esta manera y mejorando su rendimiento energético.

El hidrógeno posee altas propiedades combustibles, el mismo que al mezclarse con el biogás da como resultado un combustible con poder calorífico más elevado, además se verifican las características de las mezclas realizadas a través de la prueba de flama, la cual nos permite por observar directamente ver las características de combustión en cada mezcla. Al mejorar el valor calorífico del biogás, se podría usar el biogás mejorado Aguilar-JC74 en la generación de energía eléctrica, en la generación de vapor de agua, utilizarlo como gas doméstico, como combustible.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

- Diseñar y construir un generador de hidrógeno de hidrolisis para mejorar la calidad del biogás.

### **Objetivos Específicos**

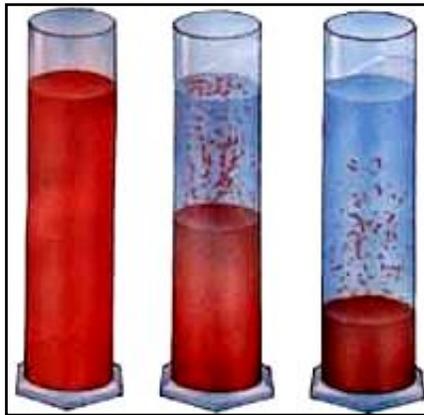
- Diseñar y construir un generador de hidrógeno de hidrolisis.
- Realizar las siguientes mezclas (5%, 10%, 15%) de hidrógeno con el biogás para mejorar su poder calorífico.
- Hallar la mezcla de mejores características del biogás potenciado (Aguilar - JC74) mediante la prueba de flama.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Mezcla

Una mezcla es la agregación de dos o más sustancias que no se combinan químicamente entre sí. A cada una de las sustancias que conforman una mezcla se le llama componente, los cuales al estar juntos o separados conservan sus propiedades características, intervienen en proporciones variables, no mantienen interacciones químicas. (Pérez, J. & Gardey, A. 2012, p.1).



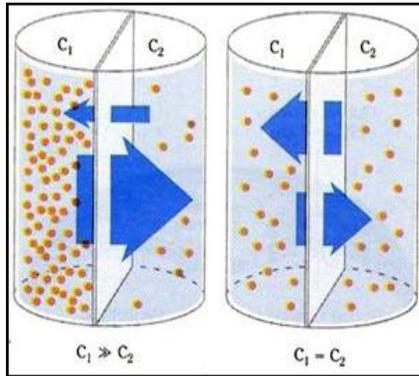
**Figura 1-1:** Esquema de una mezcla

Fuente: Pérez, J. & Gardey, A. 2012.

#### *1.1.1 Mezcla de gases*

Una mezcla de dos o más gases de una composición química fija se llama mezcla de gases no reactiva, en general las propiedades extensivas de una mezcla de gases se determina sumando las concentraciones de cada componente de la mezcla, los gases para mezclarse lo hacen a través de difusión, es decir realizando el desplazamiento de uno o más componentes a través de una mezcla.

Debido a un gradiente de concentración, las sustancias se transportan siempre desde las zonas de mayor concentración hacia las de menor concentración, si se mantiene el gradiente se consigue la separación de los componentes. (Rosado, T. 2009, p.2).



**Figura 2-1:** Esquema de transporte en la difusión molecular

Fuente: Rosado, T. 2009.

## 1.2 Generador de hidrógeno de hidrolisis

El generador de hidrógeno de hidrolisis es un estuche o coraza que contiene un conjunto de celdas formadas por placas, paralelamente direccionadas e integradas entre sí (ver fotografía 1-1). Es necesario conectar una fuente de energía eléctrica a dos electrodos hechos de algún metal como el platino o acero inoxidable, los cuales atraviesan por los picos de polaridad de las celdas. El hidrógeno aparecerá en el cátodo (polo negativo) y el oxígeno aparecerá en el ánodo (polo positivo), la cantidad del hidrógeno generado es el doble que la del oxígeno. (Holgado H., 2012, p.32).

**Fotografía 1-1:** Generador de hidrógeno



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

### ***1.2.1 Indicaciones a tener en cuenta***

A continuación veremos algunas indicaciones y consejos para los generadores de hidrógeno por electrolisis, que nos servirán para poder diseñar nuestro generador:

- a. El voltaje de la celda (entre dos electrodos) ideal teórico es de alrededor de 1.48V, y cualquier cosa por encima o debajo de este valor disminuye la eficiencia. El voltaje más idóneo de las celdas en la práctica se encuentra alrededor de 1V - 2V por cada celda.
- b. Cuanta más pequeña es la distancia de entre electrodos, más bajo será el voltaje consumido por la celda. En la práctica 5 mm de distancia entre electrodos es una distancia recomendable, con una densidad de corriente de hasta cerca de 10A, a una mayor corriente el electrolito inicia la formación de espuma, que subirá sobre las placas reduciendo la eficiencia.

### ***1.2.2 Celda del generador de hidrógeno de hidrólisis***

La celda generadora de hidrógeno, funciona mediante un principio llamado electrólisis, el cual funciona mediante la aplicación de una corriente eléctrica proveniente del tendido eléctrico reducido a 12V o una batería. La celda está llena de agua combinada con un electrolito para mejorar la conducción de la corriente a través del agua (ver fotografía 2-1). La corriente descompone el agua en sus átomos constitutivos, es decir en dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, este gas también es denominado como hidroxí (Benítez, A. & Ramos, M., 2013, p.6).

**Fotografía 2-1:** Celdas del generador

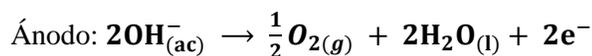
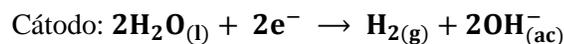


Fuente: Aguilar, M. & Cuví, J., 2016.

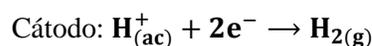
### ***1.2.3 Reacciones de electrolisis del agua***

**Se puede dar en dos medios:**

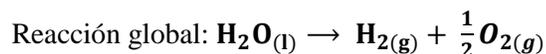
En medio alcalino tiene lugar las siguientes reacciones:



En medio ácido se producen las siguientes reacciones:



Siendo la reacción química global de la electrolisis de agua en ambos casos:



## **1.3 Electrolito**

El electrolito deberá mezclarse con agua hasta formar una disolución acuosa que permita la conductividad eléctrica, esta disolución no sufre ninguna descomposición química al voltaje de operación, por lo tanto no afecta a la eficiencia de la electrolisis y soporta las variaciones de pH que resultan de cambios en la concentración protónica sobre los electrodos, durante el proceso. Se usó hidróxido de sodio como electrolito, porque es capaz de soportar condiciones variadas y temperatura media, no deja residuos (Gámez, D., 2010, p.10).

### ***1.3.1 Hidróxido de sodio***

Hidróxido de Sodio, de fórmula química NaOH, también conocido como sosa cáustica es un sólido blanco cristalino sin olor, muy corrosivo, de nombre comercial de legía sello rojo (ver fotografía 3-1).

**Fotografía 3-1:** Presentación comercial del hidróxido de sodio



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

**Tabla 1-1:** Propiedades del hidróxido de sodio

<b>Nombre IUPAC</b>	Hidróxido de sodio
<b>Otros nombres</b>	Soda cáustica, Sosa cáustica, Sosa lejía, Jabón de piedra, E-524, Hidrato de sodio.
<b>Fórmula molecular</b>	NaOH
<b>Apariencia</b>	Sólido. Blanco.
<b>Densidad</b>	2100 kg/m <sup>3</sup> ; 2,1 g/cm <sup>3</sup>
<b>Masa molar</b>	39,99713 g/mol
<b>Punto de fusión</b>	591 K (318 °C)
<b>Punto de ebullición</b>	1663 K (1390 °C)
<b>Solubilidad en agua</b>	111 g/100 ml (20 °C) / 13.89 g/100 ml (alcohol etílico a 20 °C)

Fuente: EcuRed, 2016.

Elaborado por: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

**Obtención.** Producido en Guayaquil Ecuador, por electrólisis de una solución acuosa de Cloruro de Sodio (NaCl) o salmuera. Es un subproducto que resulta del proceso que se utiliza para producir cloro.



Al ir progresando la electrólisis se van perdiendo los cloruros siendo sustituidos por iones hidróxido, que combinados con los cationes sodio presentes en la disolución forman el hidróxido sódico. Los cationes sodio no se reducen a sodio metálico debido a su bajísimo potencial (EcuRed, 2016, p.2). El manejo de esta sustancia se lo hace bajo la norma INEN 2266:2010 titulada “TRANSPORTE, ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE MATERIALES PELIGROSOS”.

#### 1.4 El hidrógeno

Es un gas incoloro, inodoro, insípido, no metálico, inflamable, ligero y es el elemento más abundante, constituyendo aproximadamente el 75% de la materia visible del universo (Gámez, D., 2010, p.11).

##### Características:

- Puede ser utilizado como combustible
- Produce más energía por unidad de masa
- Se puede encontrar casi en todo sitio en forma de compuestos
- Su mayor reserva en el planeta está en el agua

##### 1.4.1 Propiedades del hidrógeno como combustible.

1) **Capacidad calorífica.** La capacidad calorífica es la energía necesaria para aumentar una unidad de temperatura ( $1^\circ\text{C}$  a un  $1\text{cm}^3$ ) de una determinada sustancia (Gámez, D., 2010, p.12).

2) **Poder calorífico inferior (PCI).** Es el calor realmente aprovechable de la reacción de combustión (el producido sin aprovechar la energía de la condensación del agua y otros procesos de pequeña importancia). El PCI del hidrógeno molecular en promedio es de  $25080\text{ kcal/m}^3$ . La

cantidad de energía liberada durante la combustión del hidrógeno molecular, es cerca de 2,280 veces el calor producido en la combustión de la gasolina (Gámez, D., 2010, p.12).

3) **Octanaje.** El número de octanos describe las características antidetonantes de un combustible.

**Tabla 2-1:** Octanaje de combustibles

Combustible	Numero de octanos
Hidrógeno	130
Metano	125
Propano	105
Octano	100
Gasolina	87 - 93
Diesel	30

Fuente: Gámez, D., 2010.

Elaborado por: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

## 1.5 Hidroxi

El hidroxi (también llamado oxihidrógeno, Gas de Brown, Oxhídrico, Gas HHO, hidroxi, etc.) es una mezcla de hidrógeno bi-atómico y oxígeno en proporción 2:1, la combustión del hidroxi produce como desecho agua en forma de vapor. Es tres veces más explosivo que la gasolina, y su velocidad de propagación de llama es 10 veces superior. La llama del hidrógeno molecular  $H_2$ , alcanza 2.800 °C, Un hidroxi “perfecto” proporciona 3,8 veces más energía que una llama ordinaria de  $H_2$ . (Borrás, A. 2009, P.8).

Un litro de agua descompuesto en hidrógeno y oxígeno mediante la electricidad, se expande en 1.860 litros de combustible. (Borrás, A. 2009, P.6). Para producirlo se lo hace mediante una electrolisis (ver fotografía 4-1), utilizando voltajes muy bajos, menos de 2 voltios, con amperajes muy intensos, y con corrientes continuas. Para saber si un hidrógeno está en forma molecular o atómica, se lo reconoce por su volumen, ya que en forma atómica ocupa el doble de volumen por el mismo peso. (Borrás, A. 2009, P.7).

**Fotografía 4-1:** Producción de hidrógeno



Fuente: Aguilar, M. & Cuví, J., 2016.

## 1.6 Biogás

El biogás es un gas combustible generado en medios naturales así como en dispositivos específicos a partir de las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores como las condiciones ambientales. (Paredes A. E., 2015, p.22).

El biogás es un poco más liviano que el aire, presenta un poder calorífico aproximado de 5.335 kcal/m<sup>3</sup> (ver tabla 3-1), para conocer su efectividad se realiza una comparación con otros combustibles (López, C. 2008, p.10).

**Tabla 3-1:** Comparativo del biogás con otros combustibles

Combustible	Poder calorífico kcal/m <sup>3</sup>	Poder calorífico kcal/ kg	Equivalentes a 1000m <sup>3</sup> de biogás
Biogás	5.335		1000 m <sup>3</sup>
Gas natural	9.185		581 m <sup>3</sup>
Metano	8.847		603 m <sup>3</sup>
Propano	22.052		242 m <sup>3</sup>
Butano	28.588		187 m <sup>3</sup>
Carbón		6.870	776 kg
Petróleo		11.375	470 kg
Aceite combustible		10.138	526 kg

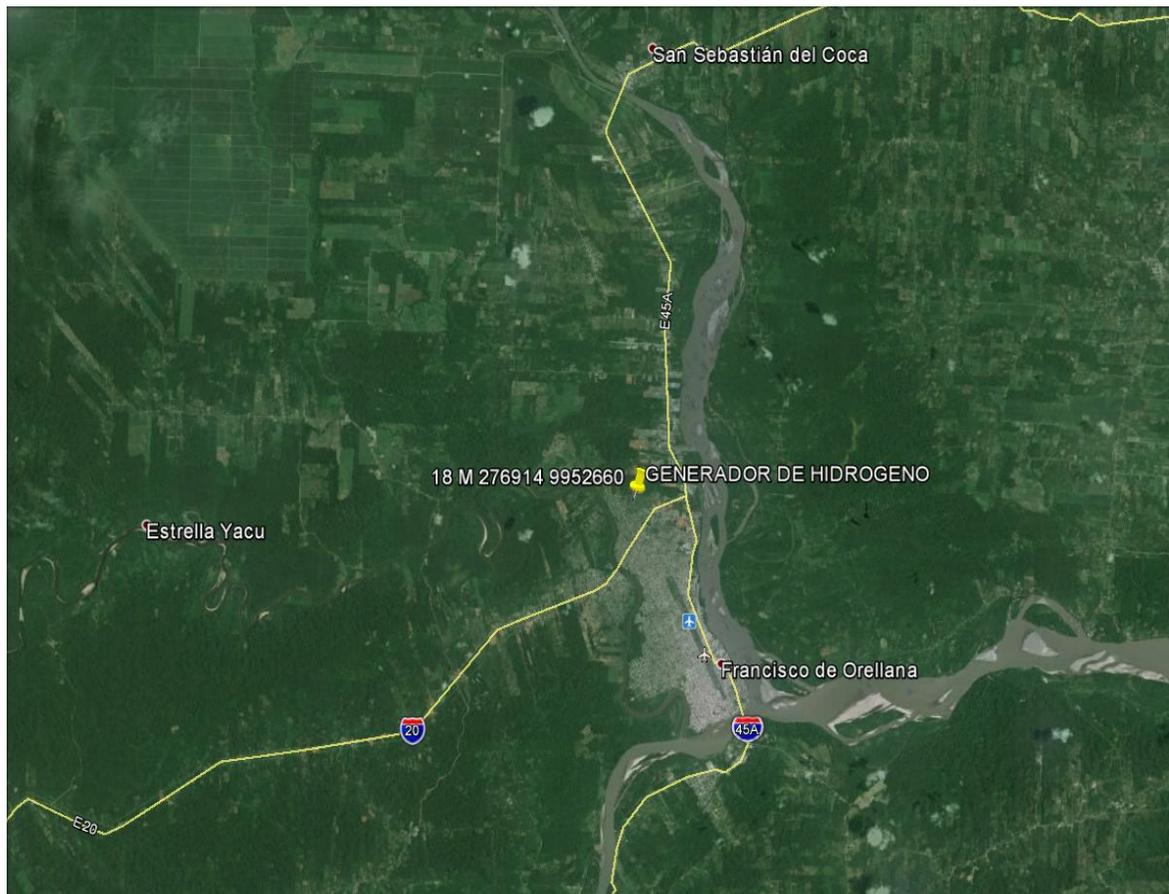
Fuente: López, C. 2008.

Elaborado por: Aguilar M. & Cuví J., 2016.

## 1.7 Marco referencial

El sitio donde se construyó el prototipo, está localizado en el barrio 6 de Diciembre a 6 cuadras de la troncal amazónica, en el cantón Pto. Francisco de Orellana, a una altura de 214msnm, en las coordenadas UTM: 18 M 276914 9952660. Se construyó en este sitio porque se nos favorece mejor la logística en la construcción, este lugar no necesariamente está ligado a mejores condiciones generales de construcción.

**Fotografía 5-1:** Ubicación del Proyecto de investigación



**Fuente:** Google Earth 2016 (Sondeo del 2014)

**Elaborado por:** Aguilar M., Cuvi J., 2016.

**Francisco de Orellana.** Es capital de la Provincia de Orellana. Es una de las ciudades más importantes de la Región Amazónica del Ecuador. También conocida como Coca, se encuentra en la Amazonia, junto a la confluencia del río Coca y el río Napo. El clima es cálido húmedo, la temperatura varía entre los 20° y 40° C.

## CAPÍTULO II

### 2. CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR

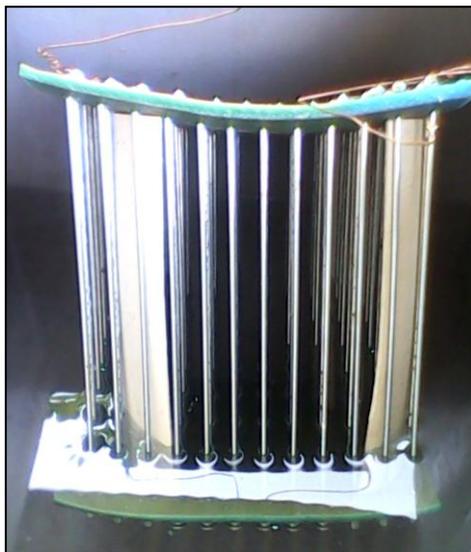
#### 2.1 Prototipos de generador

##### 2.1.1 *Generador de varillas*

Un generador de varillas, es una estructura que consta de 2 placas rectangulares en donde se integrara las varillas inoxidables (ver fotografía 1-2), el material que se utilizó como varilla fue los rayos de motocicleta, ya que contienen una cubierta antioxidante y sus extremos nos permiten colocarlos como tornillos respecto de las placas, interiormente se coloca 4 topes que soportaran la presión que ejerza los rayos sobre la estructura permitiéndonos de esta forma una tención en las varillas y disminuir la micro vibración.

Los alambres que interconectan el prototipo son de cobre, a los cuales se les retiro la cubierta de caucho, estos alambres de cobre interconectaron todos los rayos entre sí, estas varillas están separadas en filas con la siguiente configuración, 2 filas negativas y una fila positiva hasta completar las 8 filas.

**Fotografía 1-2:** Generador de varillas



**Fuente:** Aguilar, M. & Cuví, J., 2016.

### **2.1.2 Generador de mallas**

Es un conjunto de placas de malla apiladas en paralelo separadas por unas pequeñas piezas llamadas topes que separan y aíslan a las placas entre sí, para mantener la estructura se usa 3 placas de tol agujereadas por donde atraviesan 2 pernos grandes que en conjunto con las placas de tol dan forma y agregan tensión superficial al prototipo (ver fotografía 2-2). Los alambres de interconexión son 2 cables de cobre que se les retiro la cubierta aislante para que sirvan de puentes interconectores entre las placas de malla y se realice la interconexión entre el conjunto de las 9 de celdas.

**Fotografía 2-2:** Generador de varillas



Fuente: Aguilar, M. & Cuví, J., 2016.

### **2.1.3 Selección del prototipo de generador**

La selección se realizó con respecto a la producción de micro burbujas provenientes de la descomposición del agua, en el modelo de varillas la producción de burbujas fue muy pequeña, insuficiente como para algún experimento, además sus cables de interconexión se tornaron de color negro lo que redujo aún más la producción de micro burbujas, por esta razón optamos por el generador de malla. Para el modelo del generador de malla en cambio la producción era mucho mayor, se generaba suficientes micro burbujas como para realizar pruebas, y podía servir como modelo experimental, es por esto que se optó por la construcción y diseño del prototipo de malla, que será el generador de hidrógeno de hidrólisis, con el cual se realizara las mezclas propuestas en los objetivos de este trabajo de titulación.

## 2.2 Materia prima y materiales del generador de hidrógeno de hidrolisis

### 2.2.1 Materias utilizadas para generación

Las materias con las que se trabajan constan, de agua en disolución de NaOH en un volumen de 9 litros, un frasco de legía sello rojo que ayuda a mejorar la conductividad del agua, para que esta pueda hidrolizarse y poder generar hidroxido dentro de un generador de hidrógeno de hidrolisis, donde se obtiene en promedio por cada litro de agua  $1\text{ m}^3$  de hidroxido (Borrás, A. 2009, p.9), también se usa 20 kg de estiércol vacuno en un biodigestor para generar biogás, en promedio se obtiene por cada 1 kg de estiércol vacuno entre  $0.1836 - 0.222\text{ m}^3$  de biogás (Paredes, A., 2015, p.25).

### 2.2.2 Materiales para la construcción del generador de hidrógeno de hidrolisis

Para la construcción del generador de hidrógeno de hidrolisis fue necesario contar con los siguientes materiales (ver tabla 1-2).

**Tabla 1-2:** Materiales para el generador de hidrógeno de hidrolisis

Materiales	Unidades	Medida
Manguera	12	1/2 Pulg
Adaptadores	14	1/2 Pulg
Adaptadores de metal	6	1/2 Pulg
Tapones	12	1/2 Pulg
Abrazaderas	15	1 Pulg
Pernos Acero Inoxidable	2	1/2 Pulg
Arandelas	2	1/2 Pulg
Arandelas	12	1/4 Pulg
Tuercas	2	1/2 Pulg
Teflón	5	
Legía Sello Rojo	3	
Silicón para alta temperatura	3	
Silicona de pasta	1	
Cartucho de Silicona	3	
Malla fina galvanizada	3	1 m
Llave de paso	1	1/2 Pulg
Estaño para suelda	2	
Reductor de voltaje	1	12 V

Tornillos	12	1/4 Pulg
Tapa hembra	1	4 Pulg
Abrazaderas	6	1/2 Pulg
Neplo reductor Torneado	1	Universal a 1/2 Pulg
Arresta llamas	1	
Pico de Suelda Autógena	1	Universal
Tanque plástico	1	100 L
Ye tubo	1	1/2 Pulg
Placas de tol	3	1/4 Pulg
Cable solido	6	1 m
Caja para celda	1	12 L

Elaborado por: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

### 2.2.3 Materiales para la construcción del biodigestor a escala

Para complementar el Aguilar-JC74 es necesario la producción de biogás por ello se construyó un biodigestor a escala para lo cual fue necesario los siguientes materiales (ver tabla 2-2).

**Tabla 2-2:** Biodigestor a escala

Materiales	Unidades	Medida
Poma	1	10 Galones
Adaptador	1	1/2 Pulg
Excremento de vaca	20	kg
Agua común	20	Litros
Manguera	2	m - 1/2 Pulg
Llave de paso	1	1/2 Pulg

Elaborado por: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

## 2.3 Construcción del generador de hidrógeno de hidrolisis

### 2.3.1 Componentes

- a) **Malla galvanizada.** Nuestra opción fue trabajar con placas de acero inoxidable 316, por sus propiedades antioxidantes y conductividad, pero su precio es muy elevado, razón por la cual optamos trabajar con la malla galvanizada más fina de una separación aproximada de 3mm (ver fotografía 3-2), que es un material mucho más económico de propiedades similares. La cual fue cortada en pequeñas láminas de 12.5cm de largo por 12.5cm de ancho.

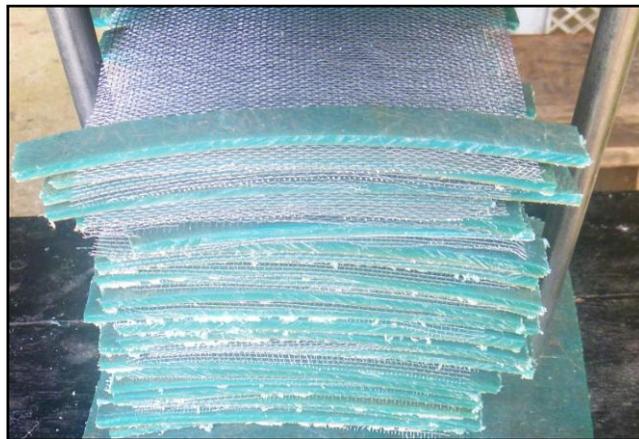
**Fotografía 3-2:** Malla galvanizada



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- b) **Aislante.** Por sus propiedades aislantes se utilizó el polietileno (plástico común), cortado en pequeño topes (ver fotografía 4-2). Los aislantes cumplen la función de separar las placas, esto ayuda a disminuir la pérdida de energía en las placas y crea un espacio para que se pueda desarrollar la electrolisis en las celdas.

**Fotografía 4-2:** Aislante



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- c) **Pernos y tuercas.** Se utiliza 2 pernos de 11Pulg de largo por 1/2Pulg de diámetro, con el propósito de mantener la forma de las celdas (ver fotografía 5-2), los cuales atraviesan las placas de tol por el exterior de las celdas sin establecer ningún tipo de contacto con las placas de malla, lo que permite aumentar la tensión superficial, disminuyendo las pequeñas vibraciones y mejorando la conductividad dentro del generador.

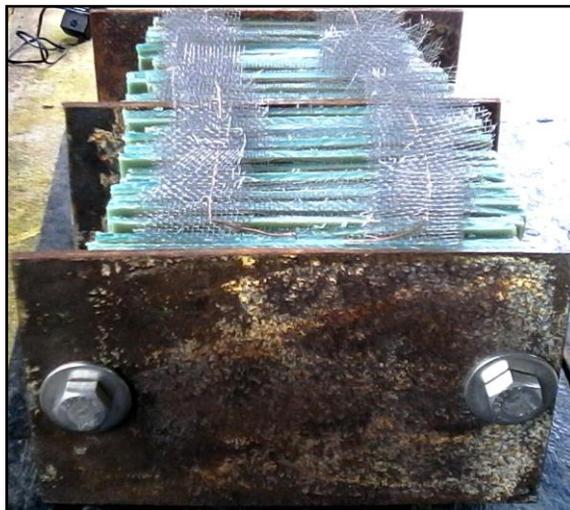
**Fotografía 5-2:** Pernos y tuercas



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- d) **Placas de tol.** Las placas de tol constan de las siguientes medidas, 1/4 de Pulg de espesor, 13cm de alto, 22cm de ancho (ver fotografía 6-2). En conjunto con los pernos su función es dar forma a las celdas y servir como soporte. Son ubicadas una en cada extremo del paquete de celdas y una a la mitad.

**Fotografía 6-2:** Placas de tol



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

e) **Reactivos.**

- **Agua:** El agua es la fuente principal a partir de la cual vamos a producir hidróxido. En el generador se puede utilizar los siguientes tipos de agua: Agua de lluvia, agua destilada, agua de vertientes, agua de pozo y agua potable.

**Fotografía 7-2:** Agua



**Fuente:** Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- **Hidrógeno:** El hidrógeno es un elemento químico, es un gas incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable. Es el elemento químico más ligero, y es también el elemento más abundante, constituyendo aproximadamente el 75% de la materia visible del universo (Gámez, D., 2010, p.11).
  
- **Oxígeno:** El oxígeno es un elemento químico, se encuentra en forma libre en el aire, representa el 21% en la composición del aire. El oxígeno del aire es necesario para la combustión y la respiración, por ello es un gas esencial para la vida. Dentro de la combustión el oxígeno cumple la función de comburente por lo que es indispensable para que se produzca la combustión (Benítez, A. & Ramos, M., 2013, p.24).
  
- f) **Electrolito.** El electrolito es una sustancia que al mezclarse con agua forma una disolución acuosa que permita la conductividad eléctrica, esta disolución no sufre ninguna descomposición química al voltaje de operación, por lo tanto no afecta a la eficiencia de la electrolisis y soporta las variaciones de pH que resultan de cambios en la concentración protónica sobre los electrodos, durante el proceso. Como electrolito se usara NaOH en este trabajo de titulación, ya que soporta condiciones variadas y temperatura media, no dejara residuos, por esta razón se utiliza como agente electrolítico para el generador de hidrógeno de hidrolisis (Gámez, D., 2010, p.10).
  
- **Hidróxido de Sodio.** De fórmula química NaOH, también conocido como sosa cáustica es un sólido blanco cristalino sin olor, muy corrosivo, de nombre comercial de legía sello rojo (ver fotografía 8-2). Al ir progresando la electrólisis se van perdiendo los cloruros siendo sustituidos

por iones hidróxido, que combinados con los cationes sodio presentes en la disolución forman el hidróxido de sodio. Los cationes sodio no se reducen a sodio metálico debido a su bajísimo potencial (EcuRed, 2016, p.2).

**Fotografía 8-2:** Hidróxido de sodio



**Fuente:** Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

Para el manejo de esta sustancia se cuenta con fichas internacionales de seguridad química, las cuales se encuentran incluidas en el ANEXO. D.

- g) Carcasa.** La carcasa es un recipiente de plástico de propiedades aislantes (ver fotografía 9-2), cuya función es la de albergar en su interior tanto el agua con el electrolito como las celdas, a más de servir como aislante con el exterior, también sirve para contener y mantener un sello hermético para evitar pérdidas en la producción de hidróxi.

**Fotografía 9-2:** Carcasa



**Fuente:** Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- h) Manguera.** Las mangueras cumplen una función muy importante dentro del sistema de generación del biogás potenciado Aguilar-JC74, la cual es permitir el paso tanto desde el generador de hidrógeno de hidrolisis como del biodigestor hacia la Ye de la mezcla, y de allí pasando al pico de salida (ver fotografía 10-2).

**Fotografía 10-2:** Manguera clonada



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- i) Llave de paso.** La llave de paso es un componente que sirve para regular el flujo del gas de salida, con ello se realiza variaciones en la concentración de salida hacia la mezcla (ver fotografía 11-2).

**Fotografía 11-2:** Llave de paso



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- j) Ye formadora.** La función de la Ye es, unir e integrar los componentes que formaran la mezcla (ver fotografía 12-2), siendo estos el hidroxí y el biogás, los cuales pasaran a formar la mezcla denominada como Aguilar-JC74.

**Fotografía 12-2:** Ye formadora



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- k) **Arresta llamas.** El arresta llamas (ver fotografía 13-2), está compuesto de varios sellos sólidos porosos, su función principal es impedir el regreso de la llama generada por el Aguilar-JC74, hacia la cámara del generador donde existe una mayor concentración del hidrógeno, evitando así la destrucción parcial o total del generador.

**Fotografía 13-2:** Arresta llamas



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- l) **Pico de combustión.** El pico de combustión (ver fotografía 14-2), es un pico de soldadura autógena común adaptado a nuestro sistema, su función principal es la de quemar el gas proveniente de la mezcla, siendo esta mezcla el gas Aguilar-JC74.

**Fotografía 14-2:** Pico de combustión



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- m) **Puentes interconectores.** Consta de 2 finos alambres que atraviesan a lo largo del paquete de celdas e interconectan con la red exterior (ver fotografía 15-2), su función principal es la de llevar la carga eléctrica a cada celda para que inicie el proceso de electrolisis en el generador.

**Fotografía 15-2:** Puentes interconectores



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- n) **Pasta selladora.** Como pasta selladora se utiliza silicona (ver fotografía 16-2), la cual consiste en una sustancia que al aplicar tanto a los acoples como a los pernos que atraviesan la carcasa crea un sello impermeable. Su función principal es ayudar al sellado hermético de la carcasa.

**Fotografía 16-2:** Silicona



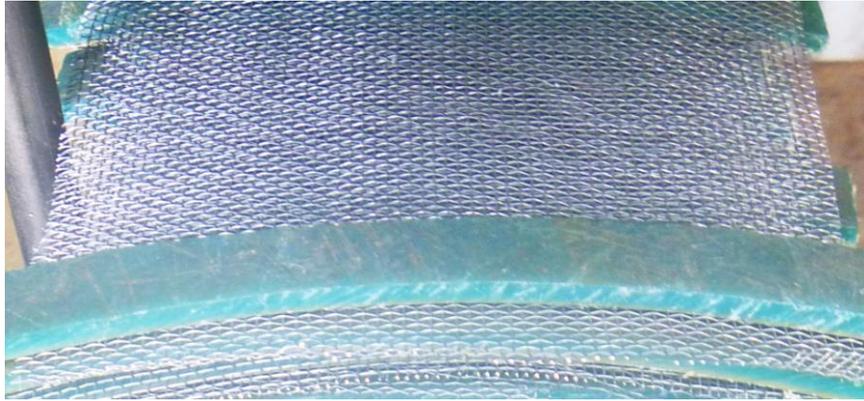
Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

### ***2.3.2 Procedimiento de construcción del generador***

- 1) Es importante contar con un sitio adecuado para la construcción, ya que la construcción lleva una cantidad considerable de tiempo y es necesario mantener las herramientas y materiales en buen estado, en lo posible sin alteraciones físicas, que pudiesen perjudicar o retardar la construcción.

- 2) Se debe tener disponible o conseguir una mesa normal y una mesa pequeña con una baquetilla, en la mesa se hará mediciones, recortes de materiales y en la mesita con banquetilla se procederá al ensamblado de las placas.
- 3) Es muy importante estar cómodo, porque el ensamblado de las placas lleva tiempo y requiere de mucha paciencia, al ser placas sueltas suelen desarmarse o desordenarse fácilmente al mínimo movimiento brusco lo que conlleva más tiempo en el armado.
- 4) Se realiza una lista de los materiales y herramientas que se van a utilizar tanto para la construcción como para el proceso de armado, y para su funcionamiento una vez armado.
- 5) La lista debe contener el material básico a usar, el material restante se puede ir adquiriendo a lo largo del proceso de fabricación e ensamblado según sea requerido.
- 6) Como material básico nos referimos a los siguientes elementos; 2 metros de malla fina, 3 placas de tol, tijera cortadoras de lámina, material plástico para topes (puede ser un tanque de 100 litros de plástico), sierrillas para cortar los topes, 2 pernos grandes para el ensamblado, un reductor de voltaje, la legía sello rojo, la carcasa, un taladro con las correspondientes brocas de las distintas medidas que se menciona en la tabla de materiales, la pasta aislante ósea la silicona, desarmadores de estrella, cautín, acoples, arandelas, tornillos pequeños, manguera, llave de paso, arresta llamas, pico de combustión, Ye.
- 7) Con el material ya disponible en el sitio de trabajo, se inicia el proceso de elaboración de los materiales para dejarlos a la medida requerida para el armado de las celdas del generador de hidrógeno de hidrólisis.
- 8) Se inicia cortando la malla, se requieren 41 placas de 12.5cm de alto por 12.5cm de largo (ver fotografía 17-2), para las placas de malla conductoras hay que hacer un pequeño cambio en la estructura, estas deben contar con una punta o oreja por donde se integrara los alambres conductores, esto solo se aplica a las placas de malla que llevaran la carga eléctrica en la celda.

**Fotografía 17-2:** Placas de malla



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- 9) Al cortar las placas de malla tienden a torcerse por el mismo efecto de la tijera al cortar, por ello se requiere que las placas sean enderezadas y aplanadas para con ello conseguir una mejor alineación entre ellas, facilitándonos el montaje y a la vez reduciendo el volumen que se genera por las torceduras al apilarlas en paralelo.
- 10) Para separar las placas de malla entre si se usa topes de plástico que aíslan y separan las placas de malla entre sí, se requiere recortar 84 topes con las siguientes medidas: 0.5cm de espesor, 1.5cm de ancho por 12.5 de largo (ver fotografía 18-2), ya cortados los topes y malla se continua con el proceso de armado.

**Fotografía 18-2:** Topes de separación



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- 11) Para mantener la forma inicial de las celdas es necesario integrar los pernos grandes en la primera placa de tol, los pernos deben estar sin la tuerca (ver fotografía 19-2), para poder seguir montando e ingresar las otras placas a medida que se va avanzando con el ensamblado.

**Fotografía 19-2:** Armado de celdas



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- 12) Ya iniciado el ensamblado hay que tomar en cuenta la configuración que llevan las placas de malla siendo esta de la siguiente forma: cada celda debe estar formada de 4 placas neutras y una placa con carga eléctrica, en total son 9 celdas distribuidas de la siguiente forma; 2 celdas negativas una celda positiva, con este orden hasta completar las 9 celdas, lo que daría 6 celdas negativas y 3 celdas positivas.
- 13) Para mejor el ensamblado se debe construir un alineador de placas de malla hecho de madera, esto nos será de gran ayuda y nos ahorrara mucho tiempo en el ensamblado porque ayuda a mantener la forma de las placas de malla mientras se avanza con el ensamblado.
- 14) El ensamblador consta de 2 pedazos de tabla, uno de 30cm y el otro de 45cm, clavados en la punta con clavos de 2,5Pulg, formando una figura de escuadra, alineando las puntas a 90° entre vértices de cada tabla.
- 15) El ensamblado se inicia poniendo 2 topes en la placa de tol, los topes quedaran separados al ancho de la placa de malla es decir 12,5cm que permitirán a la placa de malla tener espacio, es decir un tope quedara en el extremo derecho y el otro al extremo izquierdo de la placa de malla, se coloca con mucho cuidado, la primera placa de malla, debe ser la placa con oreja, se coloca 2 topes mas sobre la placa de malla de la misma manera mencionada anteriormente, ubicados en los extremos.

- 16)** Se coloca la segunda placa de malla, esta será normal sin oreja ya que actuara como neutra para la distribución de la carga, se coloca sobre ella 2 topes a los extremos de la placa de malla y colocamos otra placa de malla, se sigue este proceso para todo el ensamblado con pequeñas variaciones es decir por cada 5 placas de malla, una placa de malla será con oreja.
- 17)** Al llegar a la quinta celda, la segunda neutra debe ser reemplazada por la placa de tol, no se debe alterar el orden de las celdas simplemente se reemplaza esa placa de malla por la placa de tol, se continua con el proceso de ensamblado hasta completar las 9 celdas.
- 18)** Colocadas las placas de malla y topes en su lugar, procederemos a colocar la última placa de tol, ponemos las tuercas y apretamos hasta que su estructura sea firme.
- 19)** Al conjunto de celdas se las interconecta con 2 alambres de cobre, el grosor del cable puede ser de numero 16, se debe retirar la capa aislante de caucho que tiene el cable, lijar los alambres para retirar una finísima capa aislante de esmalte que tienen los cables de cobre, el largo de los cables debe ser el doble del largo de las 9 celdas, se procede a interconectar las celdas, dejando los 2 extremos libres para el posterior conectado con los 2 pernos conectores que se encuentran en la tapa del generador.
- 20)** Ensambladas las celdas, se procede a la preparación de un contenedor donde se depositaran las celdas y se podrá generar hidroxí, por lo que es necesario que la carcasa cumpla con algunos requerimientos, los cuales se lograran al hacer algunas adaptaciones a la carcasa.
- 21)** Usando un cautín se realiza 8 orificios en los bordes de la carcasa donde se integran 8 pernos de 1/4 de pulgada para ayudar a mantener la forma y hermetizar, se realiza 2 orificios en la tapa para integrar los pernos de 1/4 de pulgada los que servirán de interconexión, luego se realiza 2 orificios de 1/2 pulgada para los acoples, que servirán de entrada de materia y salida del hidroxí, estos acoples irán unidos a unas mangueras, una transporta el hidroxí y la otra se usara para rellenar el agua consumida por el proceso de generación de hidroxí.
- 22)** Es importante impermeabilizar la carcasa, esto se logra con la pasta de silicona, la cual es colocada, valiéndonos de un porta cartuchos que actúa como pistola de resina, lo que nos permite un amoldamiento en el filo de la carcasa y lograr un buen sellado de la carcasa.

- 23) Se procede a la conexión de las puntas de alambre provenientes de la interconexión de las celdas con los pernos integrados en la tapa de la carcasa (ver fotografía 20-2), los cuales reciben la carga eléctrica externa, una vez se haya iniciado el proceso correspondiente de generación.

**Fotografía 20-2:** Interconexión



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- 24) Se prepara una disolución de hidróxido de sodio al 4% (ver literal 2.5.4) con el fin de incrementar la conductividad en las celdas, y obtener una mejor hidrólisis, donde se disuelve 367.35g de legía sello rojo en agua, hasta alcanzar 9 litros de volumen.
- 25) La disolución se prepara de preferencia dentro de la carcasa, esta disolución se la puede verter ya sea en el proceso de construcción o de generación, realmente ya depende del criterio personal.
- 26) Para armar el generador de hidrógeno, se sumerge las celdas dentro de la disolución que se encuentra en la carcasa (opcional el sumergido, puede ser perfectamente en seco), (ver fotografía 21-2), se procede a aplicar una capa fina de silicona en el borde de la tapa de la carcasa para generar hermeticidad, se sella atornillando los pernos untados con silicona.

**Fotografía 21-2:** Generador de hidrógeno de hidrólisis



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- 27) Se realiza la integración de múltiples acoples, tanto en las llaves de paso como en la estructura del generador de hidrógeno de hidrolisis, para colocar un acople es necesario ponerle una pasta selladora para este caso usaremos silicona, se unta la silicona en la parte roscada del acople y se procede a ubicarlo en el sitio deseado con la ayuda de una llave de tubo y una llave pico de loro se realiza el ajuste de los acoples, es importante que este bien ajustado para evitar fugas.
- 28) Para realizar las conexiones con las mangueras se hace necesario contar con una vela encendida, se corta la manguera en el largo requerido para este caso sería 1.5 m, el diámetro interno de la manguera y el diámetro externo del acople son diferentes en proporción para que se pueda ajustar la manguera, se calienta la punta de la manguera con la llama de la vela, ya que este suave el material de la manguera se inserta en el acople que previamente se le unto silicona y se procede a poner una abrazadera que sujetara y ajustara la manguera al acople.
- 29) Se usa 5 pedazos de manguera (ver fotografía 22-2), uno desde el generador de hidrógeno de hidrolisis hasta la llave de paso, otro desde la llave de paso del generador de hidrógeno de hidrolisis hasta la Ye formadora, otro desde la Ye formadora hasta el arresta llamas, el otro desde el biodigestor hasta su llave de paso, el otro desde la llave de paso del biodigestor hasta la Ye formadora.

**Fotografía 22-2:** Mangueras



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- 30) Para la alimentación eléctrica se procede a conectar los pernos de la tapa a un cable al que previamente se acopló una entrada que se ajusta al pico de enchufe del reductor de voltaje (ver fotografía 23-2), que nos reduce el fluido eléctrico de 110v a 12v que es el valor requerido por el generador.

**Fotografía 23-2:** Reductor de voltaje



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- 31) Finalmente se realiza una revisión general de todas las conexiones y estructura del generador de hidrógeno de hidrólisis, tanto eléctricas como de gas, para evitar la pérdida de hidroxilo.
- 32) Aquí termina el proceso de ensamblado del generador, quedando listo para la generación, cuando el usuario lo requiera.

### 2.3.3 *Funcionamiento*

- 1) **Fase de abastecimiento.** Carga inicial es realizada con disolución de hidróxido de sodio al 4%, que se recargara en la carcasa del generador de hidrógeno de hidrólisis, el abastecimiento comprende la regeneración del agua consumida en el transcurso de la producción, se regenera el volumen perdido con agua limpia mediante la ayuda de un embudo, el nivel de agua llegara a cubrir en su totalidad las celdas, pero dejando descubierto los picos del interconectado.
- 2) **Previsiones**
  - Realizar la revisión periódica del nivel de agua, es importante tener en cuenta que el nivel del agua no debe disminuir a menos del 50% de la altura de las celdas, ya que esto disminuiría la conductividad por una saturación de iones, reduciendo de esta forma la producción de hidroxilo.
  - Revisar el pH cuando se observe una reducción considerable en la producción, el pH puede volver ya sea básico por el excesivo consumo de agua o neutro debido al uso prolongado del equipo, aunque teóricamente la evaporación del electrolito es nula, pero llevado a la práctica

existe una pequeña cantidad que se evapora en cada uso, cambiando de esta forma el valor del pH (Hidrógeno Automotriz, 2010, p.6).

- Si el pH se encuentra en estado neutro es necesario elevar la basicidad con una pequeña disolución concentrada de hidróxido de sodio. En términos prácticos en 9 litros se le agregaría una cucharada pequeña de hidróxido de sodio cada mes en caso de uso continuo del generador.
- 3) **Etapas de generación.** Al realizar la conexión del generador a una fuente de electricidad se inicia el fluido eléctrico a través del agua entre las placas de malla que se encuentran sumergidas en la disolución, la molécula del agua ( $H_2O$ ) es dividida en átomos de hidrógeno y oxígeno con la siguiente fórmula  $HHO$ , mediante el proceso de electrolisis.
- 4) **Etapas de alimentación de la mezcla.** El hidróxido generado es llevado mediante una manguera desde la cámara del generador hacia la Ye formadora, que en conjunto con el biogás que ingresa por el otro extremo de la Ye formadora, inician la mezcla para formar el biogás potenciado Aguilar-JC74.

#### ***2.3.4 Procedimiento de generación de hidróxido***

- 1) Se ubica el generador en un sitio adecuado donde podamos trabajar sin riesgo de accidentes por mala ubicación del equipo.
- 2) Se prepara una solución al 4% de NaOH utilizando el procedimiento del literal (2.5.4 p.37-39), se procede a cubrir las celdas en su totalidad sin llegar a sobrepasar su borde superior, esto se realiza en caso que el sellado se hubiera hecho en seco caso contrario solo se nivela el contenido de disolución hasta cubrir las celdas.
- 3) Si ya estuviese sellado el generador, para suministrar la disolución, se lo hace usando un embudo que nos ayudara a introducir el líquido al contenedor a través de la manguera para entrada de materia.
- 4) Se procede al sellado de la tapa con los tornillos si se hizo en seco el proceso, sino solo se sella la entrada de disolución con un tapón de 1/2 pulgada, se lo ajusta hasta que hermetice bien.

- 5) Se conecta a una fuente de energía (un tomacorrientes), con la fuente conectada se inicia el proceso de electrolisis en las celdas, que consiste en la descomposición del agua en sus átomos, siendo estos de hidrógeno y oxígeno que en conjunto se le conoce con el nombre de hidroxi.
- 6) Al pasar 5 minutos la generación de hidroxi, es total en las celdas, lo que nos permite realizar las pruebas que se desee hacer, cuando transcurren 10 minutos se alcanza el máximo de rendimiento de generación donde se observa un flujo de 0,6 L/min.
- 7) Para las mediciones de flujo es más factible usar el método de la probeta invertida, claro que si se cuenta con un gasómetro también se puede utilizar ese equipo.

## 2.4 Construcción del biodigestor

### 2.4.1 Componentes de biodigestor

- 1) **Contenedor.** El contenedor es un envase de plástico polietileno de 35 litros (ver fotografía 24-2), este sirve para contener el biogás generado y la materia orgánica de la cual se genera el biogás.

**Fotografía 24-2:** Contenedor



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- 2) **Tapa.** La tapa sirve para sellar el envase que contiene la materia orgánica y el biogás, a su vez contiene un acople, el cual se conecta a la manguera por donde debe salir el biogás (ver fotografía 25-2).

**Fotografía 25-2:** Tapa



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- 3) **Acople.** La función del acople es permitir el paso del biogás desde el envase hacia la manguera (ver fotografía 26-2).

**Fotografía 26-2:** Acople



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- 4) **Manguera.** La función de la manguera es permitir el paso del biogás generado en el biodigestor hacia la Ye formadora dentro de un medio aislante con el exterior.
- 5) **Llave de paso.** La llave de paso es un componente que sirve para regular el flujo del biogás, con ello se realiza variaciones en la concentración de salida del biogás hacia la Ye formadora, donde se produce la mezcla (ver fotografía 27-2).

**Fotografía 27-2:** Llave de paso



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

#### ***2.4.2 Procedimiento de construcción del biodigestor***

Es importante contar con un sitio adecuado que nos facilite la construcción del biodigestor.

- 1) Se realiza un listado de materiales y herramientas las cuales son: un envase de plástico de polietileno con tapa de una capacidad de 35 litros, 3 acoples, una manguera clonada, una llave de paso, una pasta selladora (silicona), 3 abrazaderas, un caudín.
- 2) Una vez adquirido los materiales se inicia con la construcción del biodigestor.
- 3) Con la ayuda del caudín procedemos a realizar un orificio de 1/2 Pulg en la tapa del envase para adaptar el acople que permitirá la salida del biogás.
- 4) Una vez hecho el orificio, colocamos el acople previamente untado con pasta selladora en la tapa, tapamos el biodigestor con la tapa que tiene integrado el acople y sellamos mediante la llave de paso que estará conectada al acople mediante una manguera.
- 5) Hay que colocar un acople de llegada y un acople de salida en la llave de paso, los cuales son hermetizados con la pasta selladora.
- 6) Realizamos la conexión de la manguera con el acople de la tapa, para ello cortamos 1.5m de manguera y es necesario una vela encendida ya que el diámetro interno de la manguera y el diámetro externo del acople son diferentes en proporción, se suaviza una punta de la manguera con la llama de la vela, para que pueda insertarse en el acople que previamente se le unto con pasta selladora, luego se procede a sujetarla al acople con una abrazadera.

- 7) La otra punta de la manguera que sale desde el acople de la tapa, de la misma forma se suaviza con la llama de la vela y se inserta en el acople de llegada de la llave de paso.
- 8) Con la llama de la vela se suaviza el material de la manguera que viene desde la Ye formadora e insertamos en el acople de salida de la llave de paso.
- 9) Una vez terminado con la construcción, realizamos una revisión de todas las conexiones.

#### **2.4.3 Funcionamiento**

- 1) **Fase inicial.** La fase inicial corresponde al relleno del estiércol vacuno y agua dentro del biodigestor, en una relación de 1 a 1, es decir 1 litro de agua por 1 kg de estiércol vacuno.
- 2) **Fase de generación.** Una vez cargado el biodigestor con estiércol vacuno y agua, empieza la fase de adaptación de los microorganismos al sustrato, luego de lo cual empieza la generación del biogás con un bajo contenido de metano, esto se prolonga hasta los 21 días, transcurrido este tiempo el biogás producido contiene buena cantidad de metano, que se utilizara para realizar la mezcla con el hidroxí.

#### **2.4.4 Procedimiento de generación de biogás**

Como materia prima para la generación del biogás, utilizamos estiércol vacuno, por su facilidad de obtención y su buena producción de biogás y buen contenido de metano (ver Anexo A, apéndice D).

- 1) Recolectamos 20 kg de estiércol vacuno en el pastizal de una finca cercana al sitio de la construcción.
- 2) Realizamos la limpieza y adecuación del biodigestor.
- 3) Valiéndonos de un pedazo de tubo partido de 3Pulg como rampa de ingreso, se ingresó 20 kg de estiércol vacuno en el biodigestor, una vez ingresado los 20 kg de estiércol vacuno, se introduce agua para diluir el estiércol, en una relación de 1 a 1, es decir 1 de litro de agua por cada kilogramo de estiércol vacuno (Paredes, A., 2015, p.25).

- 4) Una vez cargada la materia prima, se procede a sellar el biodigestor cerrando la tapa e la poma.
- 5) En los primeros días de producción de biogás, el contenido de metano es bajo, esto se prolongara hasta los 21 días, transcurrido este tiempo el biogás producido ya contiene una buena cantidad de metano.

## 2.5 Metodología

### 2.5.1 Procedimiento para la determinación del tamaño de muestra

**Procedimiento.** Tomando en cuenta el hecho de que si se genera demasiado gas solo se rebosara los instrumentos y no se lograra ninguna medida, el tamaño se define de acuerdo a la producción para lo que se realiza una pre-prueba donde se observa cuanto gas se genera en un minuto. Definiendo de esta forma el tamaño de la muestra.

Si el volumen supera los 2 litros es necesario reducir el tiempo de generación a 30 segundos, si el volumen está dentro del rango de 0,5 litros a 2 litros el tiempo será de un minuto de generación, si el volumen generado es inferior a 0,5 litros es necesario aumentar el tiempo de generación a 2 minutos, conociendo esto de ante mano se procede a generar gas por un minuto, el tiempo que se genera gas es el tamaño de la muestra, el volumen generado en un minuto es la proporción de la muestra generada.

### 2.5.2 Procedimiento para la selección de muestra

**Procedimiento.** La selección se realiza cuando la generación haya comenzado en su totalidad, es decir cuando hayan transcurrido 5 minutos de estar encendido el equipo, es necesario este lapso de tiempo para que las celdas generen de forma total y no solamente de manera parcial, pasado los 5 minutos y utilizando el método de la probeta invertida se procede a tomar la muestra, que es de un minuto de generación de gas, sin olvidar anotar la hora, la temperatura ambiente y el valor del volumen de la muestra.

**Tiempo.** Al pasar 5 minutos las celdas están produciendo en su totalidad, permitiendo apreciar mejor las características del hidroxígeno y el desempeño del generador de hidrógeno de hidrólisis, las muestras tomadas pasado este lapso de tiempo pueden representar perfectamente la naturaleza general de la producción de gas.

### ***2.5.3 Procedimiento para la determinación de la temperatura***

**Procedimiento.** Para determinar la temperatura ambiente se lo hace mediante el uso de un termómetro de vidrio, el cual se coloca en forma perpendicular al piso lejos de cualquier fuente de calor que pueda alterar el valor real de la temperatura, para lograr esto se lo hace usando un hilo o piola fina que nos permita sujetar el termómetro a un sitio alto ya sea una pared, repisa o varenga.

Lo importante es que el termómetro este en forma perpendicular al piso, a través de la observación directa de la parte graduada del termómetro determinamos la temperatura a la que se encuentra el ambiente en ese momento.

### ***2.5.4 Procedimiento para preparar una disolución de NaOH***

**Procedimiento.** Consta de una serie de pasos los cuales se describe a continuación.

- a) Es importante contar con los reactivos y materiales necesarios, por lo que procedemos con la adquirir el hidróxido de sodio (legía sello rojo).
- b) Para ingresar al laboratorio es necesario tomar algunas precauciones, es aquí donde procedemos a equiparnos con un mandil, guantes y mascarilla, esto se hace con el fin de evitar accidentes.
- c) Ingresamos al sitio donde este la balanza analítica, encendemos la balanza analítica, para pesar es necesario elaborar una pequeña canastita de papel común, donde se depositara el reactivo, depositada la canastita en la balanza, taramos (encerado) y procedemos a pesar 367.35g de legía sello rojo que contiene NaOH en un 98% (ver fotografía 28-2).

**Fotografía 28-2:** Pesado del NaOH



**Fuente:** Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- d) Es importante recordar que el papel aluminio es reactivo con el hidróxido de sodio por lo que no se recomienda su uso, en el pesado del reactivo.
- e) Ya realizado todo el pesado de la legía procedemos a apagar la balanza y cubrirla con la protección de cubierta si la tuviese.
- f) Posterior al pesado en una recipiente de más de 10 litros o la carcasa que se usara para el generador, se procede a vaciar 8 litros de agua (ver fotografía 29-2).

**Fotografía 29-2:** Carcasa con agua



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- g) Si se desea se puede hacer un pre diluido del hidróxido de sodio antes de vaciarlo al contenedor de agua donde se realizara la disolución (ver fotografía 30-2).

**Fotografía 30-2:** Dilución del NaOH



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- h) Si no se contara con los instrumentos necesarios para una pre-disolución se lo puede realizar de manera directa también, el reactivo se va agregando de manera lenta sin permitir que se acumule en un solo sitio, hay que distribuirlo por todo el contenedor, esto evitara reacciones violentas con el agua.

- i) Para diluir el NaOH en el contenedor se usa un agitador de vidrio, o en su defecto también se podría improvisar y usar el termómetro como agitador sin olvidar que el termómetro de vidrio es de uso delicado por lo que se debe evitar movimientos bruscos al agitar la disolución.
- j) Una vez se haya diluido todo el NaOH se procede al nivelado de volumen (ver fotografía 31-2), se rellena con agua hasta que el volumen alcance 9 litros, quedando de esta forma la disolución al 4% de NaOH, lista para usarse.

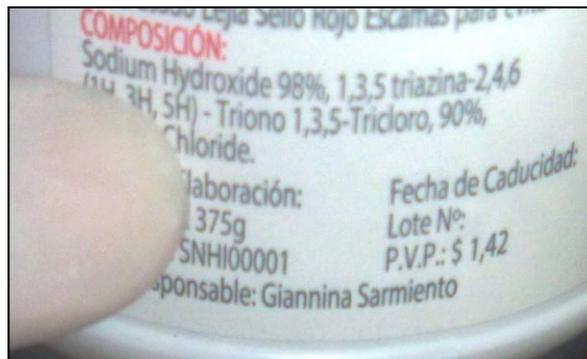
**Fotografía 31-2:** Nivelado del volumen de la disolución



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

- k) Como dato adicional, aplicado en lo práctico si no se contara con medios de medición de peso y conociendo que el peso necesario es de 367.35g de legía sello rojo, se puede aplicar un frasco completo de legía sello rojo ya que la presentación comercial viene en un peso de 375g de legía sello rojo (ver fotografía 32-2), el cambio en la concentración es imperceptible, siendo el porcentaje de concentración de NaOH en la disolución de 4,083%.

**Fotografía 32-2:** Peso de la presentación comercial



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

### ***2.5.5 Procedimientos de los métodos de recolección de datos***

**Procedimiento.** La recolección de datos se hace mediante el uso de varios métodos siendo estos.

- 1) **Observación directa.** La cual consiste en prestar mucha atención a cada detalle del proceso que se desarrolla ya sea el funcionamiento o las pruebas que se realizan con los equipos, estos detalles hay que anotarlos de la manera más precisa que se pueda sin alterar los resultados, para que los datos representados mediante este método sean confiables, seguros y representativos.
- 2) **Medición.** Valiéndonos de instrumentos graduados y equipos de medición se realiza las mediciones correspondientes a cada tipo de actividad donde se intenta ser lo más preciso posible para que los datos representados por este método sean lo más reales posibles, permitiéndonos reflejar los resultados de las pruebas, disoluciones y volúmenes que se realizan en el proceso de generado del hidroxí.
- 3) **Bibliografía.** Para el desarrollo de este método es necesario acudir a una biblioteca donde se solicita los libros que tengan alguna relación con el tema del trabajo de titulación, para a través del estudio de casos similares o relacionados, podamos usarlos como apoyo en nuestro modelo, también se hace uso del internet que es una herramienta virtual muy completa donde también se puede encontrar información relacionada y actualizada sobre el tema del trabajo de titulación, en ambos casos es necesario una lectura comprensiva seguido de un pequeño análisis, para separar la información que nos sea útil.
- 4) **Fotografías.** Para realizar este método es necesario contar con una cámara, con la cual se irá documentando a través de imágenes los momentos más importantes en cada proceso y prueba que se realice en el desarrollo del trabajo de titulación, tratando de capturar los momentos más representativos que de alguna forma representaran el desarrollo general del trabajo de titulación y servirán como evidencias, de que el trabajo de titulación se realizó tal como mencionan los autores.
- 5) **Tablas.** Este método es usado para resumir y mostrar de una manera clara y concisa un gran número de datos, que de otra forma representarían una parte extensa de datos, lo cual sería difícil de asimilar y comprender, por ende se representa en tablas para mejor representación y comprensión de los datos de los resultados tanto para el lector como para los autores.

- 6) **Funcionalidad.** Consiste en hacer funcionar el equipo y realizar las pruebas que se propuso y a través de demostraciones prácticas obtener resultados reales para presentar como evidencia ya sea del éxito o fracaso del trabajo de titulación propuesto y evidenciar el trabajo realizado en campo.
- 7) **Asesoría.** Consiste en una investigación ligera a personas conocedoras del tema para obtener una guía de hacia dónde dirigir nuestros esfuerzos en el desarrollo del trabajo de titulación propuesto, y poder desempeñarnos mejor en el desarrollo, estudio, y construcción de un prototipo funcional.

## 2.6 Pruebas de la producción de hidroxí

### 2.6.1 Medición de la producción de hidroxí

La producción del hidroxí se puede medir con los siguientes métodos, el gasómetro y la probeta invertida, para este caso por fines económicos se ha seleccionado el método de la probeta invertida, claro que si se cuenta con un gasómetro también se puede usar este equipo, a continuación procedemos a describir el método de medición de la probeta invertida. (Ver fotografías 33-2, 34-2 y 35-2).

**Fotografía 33-2:**

Método de la probeta invertida



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

**Fotografía 34-2:**

Llenado con hidroxí



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

**Fotografía 35-2:**

Medición del volumen



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

## **A. Materiales**

- Recipiente graduado
- Lavacara
- Cuaderno de apuntes
- Lápiz
- Cámara
- Generador de hidroxilo de hidrólisis
- Biodigestor
- Cronometro o reloj con cronometro
- Encendedor
- Manguera de venoclisis
- Cortador de fluido de venoclisis

## **B. Procedimiento de la probeta invertida**

- 1) Para comenzar a realizar la prueba es necesario realizar algunas adaptaciones en los materiales que se usara, en el proceso que se realiza es importante ir documentando, para ello se toma apuntes en alguna libreta, donde apuntaremos los resultados, pero también la documentación gráfica es importante para poder demostrar de una manera física como se va realizando el proceso de medición.
- 2) La botella que usaremos debe tener un volumen de 1.5litros a 2litros, que nos servirá de recipiente graduado, lo graduamos, esto lo hacemos con la ayuda de una probeta de 100ml que nos permitirá ir insertando volumen graduado dentro de la botella, el mismo que será marcado por cada volumen de 100ml ingresado, se pondrá una raya, esto se continuara hasta acumular suficientes rayas que sumadas nos den un valor de 1,5 litros.
- 3) Con la botella graduada se inicia el proceso de medición, para esto la botella graduada se llena de agua en su totalidad, se tapa, se invierte y se coloca en la lavacara que es llenada parcialmente de agua, unos 5 cm de altura, dentro de la lavacara se procede a destapar la botella de una manera cuidadosa, una vez destapada la poma se introduce cuidadosamente la manguera dentro de la botella.

- 4) Conjunto a la colocación de la botella, se genera hidroxí por 5 minutos, este hidroxí inicial es liberado al ambiente, al alcanzar los 5 minutos de tiempo está listo el generador para iniciar la prueba, se procede a unir el pico de combustión con la manguera que fue previamente colocada dentro de la botella, se controla el tiempo con un reloj o cronometro, el tiempo de generación debe ser un minuto, luego de esto cerramos el paso del hidroxí y desconectamos el pico de combustión.
  
- 5) Observamos por la parte graduada de la botella que valor de desplazamiento de agua se ha producido en un minuto de generación de hidroxí, es importante que la botella este recta es decir en un ángulo de 90° con el asiento direccionado hacia el cielo, esta medida observada representa el volumen del hidroxí, que desplazó al agua que contenía la botella.

En las pruebas cabe mencionar que entre más alta es la temperatura del ambiente más rápido se alcanza el punto crítico de la producción siendo este de 0,6 litros por minuto.

### **2.6.2 Resultados de la medición de la producción de hidroxí**

Las pruebas las realizamos en 9 días, en cada día se realizó 2 pruebas esto con el fin de poder obtener variación en el clima, la temperatura ambiente y conocer de manera general el comportamiento del generador respecto de la producción de hidroxí.

**Tabla 3-2:** Producción de hidroxí

<b>Fecha</b>	<b>Producción de hidroxí</b>	
<b>Abril -2016</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>ml/min</b>
11	34	520
	32	510
12	38	540
	34	510
13	40	550
	38	540
18	35	530
	33	520
19	38	540
	35	530
20	39	550

	37	540
25	33	520
	31	510
26	36	530
	33	520
27	40	550
	36	530
<b>Promedio</b>	<b>35,67</b>	<b>530</b>

Elaborado por: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

En esta tabla se presenta los valores obtenidos en las pruebas de producción, en la primera columna podemos observar los días en que se realizó las pruebas, en la segunda columna podemos observar la temperatura ambiente a la que se realizó la correspondiente prueba, en la tercera columna podemos observar los valores de producción del generador de hidrógeno de hidrólisis.

En promedio la temperatura que obtuvimos es de un valor de 36°C con una producción de hidrógeno de 0,53 litros por minuto de generación, lo que se acerca al valor máximo de producción que es de 0,6 litros por minuto de generación.

## 2.7 Prueba de flama

### 2.7.1 Mezclas para la prueba de flama

La prueba de la flama es realizada tres veces, utilizando una fuente de combustión como una fosforera o una vela encendida, se enciende el biogás potenciado (Aguilar-JC74) que sale a través de un pico de combustión en la correspondiente concentración, se utiliza los siguientes datos aproximados de porcentaje de las mezclas del hidrógeno con el biogás:

**Tabla 4-2:** Mezclas

Hidrógeno		Biogás		Total	
Porcentaje (%)	Producción (ml/min)	Porcentaje (%)	Producción (ml/min)	(%)	(ml/min)
5	30	95	570	100	600
10	60	90	540	100	600
15	90	85	510	100	600

Elaborado por: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

### ***2.7.2 Procedimiento para la prueba de flama***

- 1) Para realizar la prueba de flama es necesario realizar una división en partes iguales de los 90° que se puede girar la llave.
- 2) Se divide la llave de paso del hidroxí en 10 partes, a las 2 divisiones primeras se les realiza una subdivisión interna, esto nos permitirá usar valores intermedios como el de 5% y 15%.
- 3) La llave de paso del biogás se divide en 10 partes iguales pero a diferencia de la del hidroxí las subdivisiones se realizan en las 2 líneas finales de giro de la llave, esto con el fin de poder liberar producciones intermedias como lo son de 85% y de 95% de biogás.
- 4) Realizado el graduado se procede a iniciar la producción de hidroxí, se espera 10 minutos para que alcance la máxima producción del generador de hidrógeno de hidrolisis.
- 5) Alcanzada la máxima producción en el generador, se enciende una vela a una distancia prudente mínimo 3 m, esto con el fin de encender el Aguilar-JC74 que se está por producir.
- 6) Se abre la llave de paso de hidroxí primero, porque nuestro biogás es limitado en su volumen pero el hidroxí lo podemos seguir generando según nuestro requerimiento, se abre para la primera prueba una abertura de media línea, para la segunda prueba una línea y para la tercera prueba línea y media.
- 7) En la llave de paso del biogás se abre, para la primera prueba nueve y media líneas, recuerden que en el biogás las subdivisiones de las líneas se encuentran al final, para la segunda prueba se abre nueve líneas y para la tercera prueba se abre ocho y medio líneas.
- 8) Regulado el paso del gas se procede a encenderlo con la vela previamente encendida, aquí por observación directa se puede evidenciar las características de la llama en cada prueba.
- 9) Es importante no olvidarse de documentar los resultados, de manera escrita con la ayuda de una libreta y un lápiz se procede a describir la quema de gas correspondiente a cada prueba, también es conveniente documentar gráficamente para lo que utilizamos una cámara y generamos evidencia visual correspondiente a cada prueba.

### 2.7.3 Características de la llama en las prueba de flama

**La primera** prueba se realiza con las siguientes concentraciones, 5% del hidroxi y 95% del biogás (ver fotografía 36-2), donde se observó la presencia de una flama mínima y amarillenta.

**Fotografía 36-2:** Concentración del hidroxi en un 5%



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

**La segunda** prueba se realiza con las siguientes concentraciones, 10% del hidroxi y 90% del biogás (ver fotografía 37-2), donde se observó la presencia de una flama normal amarillenta.

**Fotografía 37-2:** Concentración del hidroxi en un 10%



Fuente: Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

**La tercera** prueba se realiza con las siguientes concentraciones, 15% del hidroxi y 85% del biogás (ver fotografía 38-2), donde se observó la presencia de una flama dispersa incapaz de mantener la combustión por sí sola, siendo necesaria una fuente de combustión para mantener la flama.

**Fotografía 38-2:** Concentración del hidroxi en un 15%



**Fuente:** Aguilar, M. & Cuvi, J., 2016.

Se observa mejores características de combustión, a través de la observación directa en la combustión del biogás potenciado Aguilar-JC74, en una concentración de 10% de hidroxi y un 90% de biogás.

## CAPÍTULO III

### 3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 3.1 Dimensionamiento del generador de hidrógeno de hidrolisis

Para realizar el dimensionamiento del generador de hidrógeno de hidrolisis, se procede a realizar los cálculos correspondientes de las dimensiones del generador de hidrógeno de hidrolisis.

##### 3.1.1 Cantidad de disolución de hidróxido de sodio

Al usar agua es necesario incrementar su conductividad, a fin de obtener una mejor hidrolisis, se disuelve 367.35g NaOH en agua hasta alcanzar 9 litros de volumen para obtener una disolución al 4% de hidróxido de sodio.

##### 3.1.2 Volumen del generador de hidrógeno de hidrolisis

Al cubrir las celdas en su totalidad el volumen alcanzado de la disolución al 4% es de 9 litros, partiendo de esta información y sabiendo que la concentración de hidróxido de sodio en la legía sello rojo es de 98%, se realizan los cálculos:

➤ **Peso necesario de legía sello rojo para preparar la disolución al 4%**

**Dónde:**

**Vd:** Volumen de la disolución: 9000ml

**%:** 4% De concentración NaHO en la disolución

**Vc:** Volumen de la cámara 1/6(Vd)

**Pig:** Peso de legía sello rojo

$$Pig = Vd * \%NaOH * Pureza NaOH$$

$$Plg = 9000ml * \frac{4g NaOH}{100g NaOH} * \frac{100g NaOH}{98g NaOH} = 367,35g NaOH$$

### 3.1.2.1 Calculo del volumen total del generador de hidrógeno de hidrólisis

Calculo del volumen de la disolución más la cámara del hidroxí.

$$Vt = Vd + \frac{1}{6} (Vd)$$

$$Vt = 9000ml \text{ Dis NaOH} + \frac{1}{6} (9000ml \text{ Dis NaOH})$$

$$Vt = 10500mL * \frac{1L}{1000ml} = 10,5L$$

### 3.1.2.2 Dimensionamiento del generador de hidrógeno de hidrólisis a partir del volumen

#### a) Dimensiones teóricas

Estas son las especificaciones de construcción de forma teórica, no necesariamente debe ser un límite, se puede aumentar las dimensiones si se desea, siempre y cuando no se sobrepase el límite de volumen de seguridad máximo permitido, que es de 2/6 del volumen total del generador, en este caso sería 3 litros

**Volumen total** = 10,5L

**Largo** = 26,855cm

**Ancho** = 23cm

**Alto** = 17cm

$$Vt = L * A * h$$

$$Vt = 26.855cm * 23cm * 17cm = 10500,305cm^3$$

$$Vt = 10500,305cm^3 * \frac{1L}{1000cm^3} = 10,5L$$

## **b) Dimensiones reales**

Esto se aplica cuando uno dispone de algún recipiente que puede servir de cubierta, siempre y cuando su volumen se encuentre dentro del límite permitido, caso contrario se debe construir un recipiente adecuado o buscar un recipiente adecuado, para que cumpla la función de cubierta del generador. En este caso se usó un recipiente que se encontraba dentro del rango establecido, para determinar su volumen solo se procede a medir sus dimensiones es decir largo, ancho, alto y se multiplica los 3 valores.

**Largo** = 30cm

**Ancho** = 24cm

**Alto** = 18cm

$$V_r = L * A * h = 30\text{cm} * 24\text{cm} * 18\text{cm} = 12960\text{cm}^3$$

$$V_r = 12960\text{cm}^3 * \frac{1\text{L}}{1000\text{cm}^3} = 12,96\text{L}$$

El volumen requerido del generador de hidrógeno de hidrólisis es de 10,5L, y el volumen real ( $V_r$ ) obtenido es de 12,96L, lo cual está dentro del rango de tolerancia que es de 3L, siendo el volumen máximo permisible de 13.5L.

### **3.3 Calculo de las celdas de generación**

La forma del generador de hidrógeno de hidrólisis debe ser rectangular, ya que ayuda a disminuir la pérdida de voltaje en las celdas, y a disminuir la cantidad de materiales usados en su construcción, el tamaño de cada placa será de 12,5cm de alto por 12,5cm de ancho. Con el objetivo de que el equipo pueda funcionar ya sea en corriente continua o corriente alterna, se toma como punto de partida 12V, con una potencia de 8 Amperes, para el diseño de las celdas.

#### **3.3.1 Calculo del área neta por cada placa de celda**

Sabiendo de antemano que los topes de aislamiento consumen una pequeña área de la placa hacemos una corrección pasando de 12,5cm de alto a 12cm de alto y de 12,5cm de ancho a 12cm de ancho.

**Dónde:**

**S** = Área conductora.

**I** = Intensidad de carga en amperios.

**V<sub>L</sub>** = Voltaje en Voltios.

**L** = (**h x L°**) = Longitud entre puntos.

**h** = Altura de la celda

**L°** = Largo de la celda

**e%** = porcentaje de error (5)

$$S = \frac{6 * L * I}{V_L * e\%}$$

$$S = \frac{6 * L * I}{V_L * e\%}$$

$$S = \frac{6 * (h * L^\circ) * I}{12 * 5}$$

$$S = \frac{6 * (12 * 12) * 8}{12 * 5}$$

$$S = 115,2cm^2$$

**3.3.2 Calculo del voltaje consumido por cada celda**

Calculo del voltaje que consumirá cada celda dentro del generador, se toma en cuenta solo una placa de malla porque solo una recibe la carga eléctrica las otras solo ayudan a la fluctuación de la corriente.

**Dónde:**

**T<sub>c</sub>** = Tensión en celda (Voltios).

**L** = Espacio del Conductor (Cm<sup>2</sup>).

**h** = Altura de la celda

**L°** = Largo de la celda

**RL** =Resistencia [1.51].

**I** = Corriente en el conductor. Amperes

$$T_c = \frac{2L * RL * I}{1000}$$

$$T_c = \frac{(h * L^0) * RL * I}{1000}$$

$$T_c = \frac{115,2 * 1,51 * 8}{1000}$$

$$T_c = 1,392 \text{ Voltios}$$

### 3.3.3 Calculo del número de celdas

Es necesario conocer la cantidad de celdas que se integran dentro de toda la extensión de nuestro generador de hidrógeno de hidrolisis, para lo que se calcula la cantidad de celdas que se ocupan, partiendo del voltaje al que vamos a trabajar que en este caso sería 12V, dividido para el consumo eléctrico de cada celda dentro del generador de hidrógeno de hidrólisis que vendría a ser de 1,392V.

**Dónde:**

**Nc** = Numero de celdas

**VT** = Voltaje total

**Vc** = Voltaje requerido por celda

$$N_c = \frac{VT}{V_c}$$

$$N_c = \frac{12}{1,392}$$

$$N_c = 8,62 \approx 9 \text{ CELDAS}$$

El número de celdas será de acuerdo al voltaje con el que se trabaje, hay que tomar en cuenta que si el voltaje es muy alto solo se produce perdida de tención, ya que el equipo debe trabajar en un rango de 1 a 2 voltios por celda, esto representa un voltaje aceptable, por encima de estos valores no se obtiene mejoras simplemente es perdida ya que el generador generaría mucha espuma de electrolito.

### 3.4 Calculo de producción de hidroxí

A partir de los datos tabulados en la tabla de producción (tabla 3-2), obtenemos la cantidad que se produce en el generador de hidrógeno en promedio por minuto de generación.

**Dónde:**

**BHHOp:** Promedio de Producción de hidroxí (L/min)

**BHHOm:** Producción Máxima de hidroxí (L/min)

**BHHO:** Promedio de Producción Total de hidroxí (L/min)

$$BHHO = \frac{BHHOp + BHHOm}{2}$$

$$BHHO = \frac{0,53 \frac{L}{min} + 0,6 \frac{L}{min}}{2}$$

$$BHHO = 0,565 \frac{L}{min}$$

➤ **Producción de hidroxí por hora**

$$BHHO = BHHO * \frac{60min}{1h}$$

$$BHHO = \frac{0,565L}{min} * \frac{60min}{1h}$$

$$BHHO = 33,9 \frac{L}{h}$$

➤ **Producción de hidroxí corregido**

Se recomienda añadir un margen de error entre 4% a 8% como factor de seguridad en la producción, por posibles fallos o fugas en la construcción, para este caso se tomó el 5% de error como se muestra en la ecuación del hidroxí corregido.

$$\text{BHHO} = 33,9 \frac{L}{h} - \left( 5 * \frac{33,9}{100} \right)$$

$$\text{BHHO} = 32,205 \frac{L}{h} \approx 32 \frac{L}{h}$$

### 3.5 Cálculos teóricos del poder calorífico

#### 3.5.1 Cálculo teórico del poder calorífico del hidróxi

En el generador de hidrógeno de hidrolisis, al generar hidróxi se produce tanto el hidrógeno molecular como el hidrógeno atómico, si la carga es menos de un voltio se produce hidrógeno atómico y si es más de un voltio produce hidrógeno molecular, la carga eléctrica de la celda es de 1,392V, que al pasar por las placas neutras va disminuyendo hasta menos de 1V, lo que genera hidrógeno atómico (Borrás, A. 2009, P.9), por ello se realiza una media de los poderes caloríficos tanto del hidrógeno atómico y del hidrógeno molecular.

**Tabla 1-3:** Relación del poder calorífico de algunas sustancias

Combustible	Densidad ( kg/m <sup>3</sup> )	Pci ( kcal/ kg)	Pci ( kcal/m <sup>3</sup> )	R. Gasolina
Hidrógeno atómico	0.0450	120011	95304	8.664
Hidrógeno molecular	0.0899	28642	25080	2.280
Gasolina	0.7450	12000	11000	1.000
Metano	0.8170	11973	8600	0.843
Biogás [62,02% CH <sub>4</sub> ]			5.335	0.485
Aguilar-JC74 (10%)			10820,7	0,984

Fuente: Eurosta, AIE y Resolución de la Secretaría de Estado de Energía de 27 de diciembre de 2013 que modifica a la Orden ITC/2877/2008.

Elaborado por: Aguilar M., Cuvi J., 2016.

**Dónde:**

**PcHx** = Poder calorífico del hidróxi

**PcH<sup>+</sup>** = Poder calorífico del hidrógeno atómico

**PcH<sub>2</sub>** = Poder calorífico del hidrógeno molecular

$$\text{PcHx} = \frac{\text{PcH}^+ + \text{PcH}_2}{2} = \frac{95304 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} + 25080 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}}{2} = 60192 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

### 3.5.2 Cálculo del poder calorífico teórico del Aguilar-JC74 al 5%

La mezcla contiene 5% de hidroxi y 95% de biogás, para hallar su poder calorífico teórico se realiza una suma porcentual de los poderes calóricos inferiores de la mezcla.

**Dónde:**

**PcAJ74** = Poder calorífico del Aguilar-JC74

**PcHx** = Poder calorífico del hidroxi (60192 kcal/m<sup>3</sup>)

**Pcb** = Poder calorífico del biogás (5335 kcal/m<sup>3</sup>)

$$PcHx_{5\%} = \frac{5 * 60192 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}}{100} = 3009,6 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

$$Pcb_{95\%} = \frac{95 * 5335 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}}{100} = 5068,25 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

$$PcAJ74 = PcHx_{5\%} + Pcb_{95\%} = 3009,6 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} + 5068,25 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} = 8077,85 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

### 3.5.3 Cálculo del poder calorífico teórico del Aguilar-JC74 al 10%

La mezcla contiene 10% de hidroxi y 90% de biogás, para hallar su poder calorífico teórico se realiza una suma porcentual de los poderes calóricos inferiores de la mezcla.

**Dónde:**

**PcAJ74** = Poder calorífico del Aguilar-JC74

**PcHx** = Poder calorífico del hidroxi (60192 kcal/m<sup>3</sup>)

**Pcb** = Poder calorífico del biogás (5335 kcal/m<sup>3</sup>)

$$PcHx_{10\%} = \frac{10 * 60192 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}}{100} = 6019,2 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

$$Pcb_{90\%} = \frac{90 * 5335 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}}{100} = 4801,5 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

$$PcAJ74 = PcHx_{10\%} + Pcb_{90\%} = 6019,2 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} + 4801,5 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} = 10820,7 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

### 3.5.4 Cálculo del poder calorífico teórico del Aguilar-JC74 al 15%

La mezcla contiene 15% de hidroxi y 85% de biogás, para hallar su poder calorífico teórico se realiza una suma porcentual de los poderes caloríficos inferiores de la mezcla.

**Dónde:**

**PcAJ74** = Poder calorífico del Aguilar-JC74

**PcHx** = Poder calorífico del hidroxi (60192 kcal/m<sup>3</sup>)

**Pcb** = Poder calorífico del biogás (5335 kcal/m<sup>3</sup>)

$$PcHx_{15\%} = \frac{15 * 60192 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}}{100} = 9028,8 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

$$Pcb_{85\%} = \frac{85 * 5335 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}}{100} = 4534,75 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

$$PcAJ74 = PcHx_{15\%} + Pcb_{85\%} = 9028,8 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} + 4534,75 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} = 13565,55 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

Como comparativo podemos decir que de los 3 cálculos teóricos del poder calorífico, con las concentraciones del Aguilar-JC74 al 5%, 10%, 15% en mezcla, el mejor poder calorífico está presente en la mezcla del 15% del Aguilar-JC74, sin embargo las mejores características de combustión se presentaron en el Aguilar-JC74 al 10%, por ello para fines de uso nos conviene más el que mejor se combustiona, es decir el Aguilar-JC74 al 10%.

### 3.5.5 Comparación de la mejora del Aguilar-JC74-10% respecto al biogás

Esta mejora se puede evidenciar al realizar los siguientes 3 cálculos básicos, que se demuestran la mejora de manera teórica en los poderes caloríficos del biogás en su estado inicial y en su estado mejorado como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Diferencia: } P_{cA}74 - P_{cb} = 10820,7 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} - 5335 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} = 5485,7 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Alcance: } \frac{P_{cA}74}{P_{cb}} = \frac{10820,7 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}}{5335 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3}} = 2,028$$

$$\% \text{ de mejora: } \frac{10820,7 * 100}{5335} = 202,82\%$$

Para explicar los cálculos anteriores se puede decir que:

**La diferencia** es el valor neto que se le aumento al poder calorífico en relación al poder calorífico original del biogás.

**El alcance** es cuantas veces supero el poder calorífico nuevo al valor de referencia del poder calorífico inicial del biogás.

**El porcentaje** de mejora es el valor porcentual de cuantas veces se superó el valor del poder calorífico inicial del biogás con la mejora de su poder calorífico a través de la mezcla representada en forma de porcentaje.

### 3.6 Análisis de los resultados

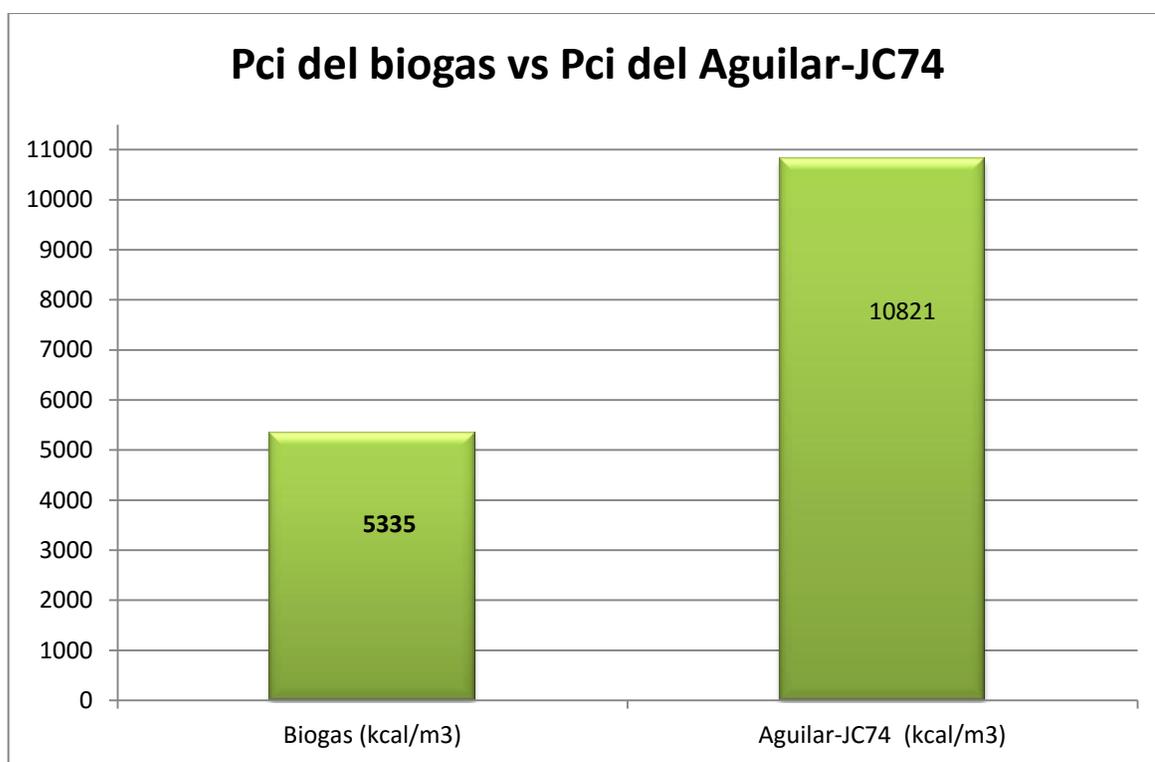
#### 3.6.2 Análisis del poder calorífico teórico

En una comparación de los poderes caloríficos tanto del biogás puro que tiene un poder calorífico de 5335 kcal/m<sup>3</sup> así como del hidroxi puro que su valor de poder calorífico es de 60192 kcal/m<sup>3</sup>, se puede evidenciar la diferencia. Esta diferencia la desglosaremos para una mejor comprensión de lo que se trata de mostrar con la realización de este trabajo de titulación.

Las mejores características de combustión se hallaron en la concentración de 10% de hidroxi con 90% de biogás por ello a esta concentración le haremos un enfoque completo, al realizar el mezclado de los gases en la concentración de 10% de hidroxi, podemos hallar un poder calorífico de 6019,2 kcal/m<sup>3</sup> y en el 90% de biogás podemos hallar un poder calorífico de 4801,5 kcal/m<sup>3</sup>.

Sumando los datos de los porcentajes correspondientes de poder calorífico es decir 10% hidroxí más 90% de biogás podemos encontrar un valor de poder calorífico de 10820,7 kcal/m<sup>3</sup>, este poder calorífico representa al Aguilar-JC74 el cual es nuestro producto final al realizar las mezclas entre biogás e hidroxí.

Entonces podemos decir que el poder calorífico del biogás común sufrió un considerable aumento, demostrando teóricamente que se mejoró su poder calorífico al doble de su valor original aproximadamente, esto lo podemos ver de mejor manera en el siguiente gráfico 1-3.



**Gráfico 1-3:** Gráfico comparativo del Pci del biogás y biogás potenciado.

Elaborado por: Aguilar, M. & Cuví, J., 2016.

## CONCLUSIONES

- El diseño del generador de hidrógeno de hidrólisis, se llevó a cabo mediante la construcción del prototipo lo que nos permitió conocer la producción del hidrógeno, el cálculo de los parámetros necesarios se realizó a través de técnicas cuantitativas y experimentales, obteniendo los siguientes parámetros: Volumen teórico de 10,5L con las siguientes dimensiones; un largo de 26,855cm, un ancho de 23cm, con un alto de 17cm y un volumen real de 12,96L con las siguientes dimensiones: alto de 18cm, largo de 30cm, Ancho de 24cm, altura de seguridad de 5cm. El número de celdas del generador es de 9 celdas.
- Realizadas las mezclas con los siguientes poderes caloríficos; 5% = 8077,85 kcal/m<sup>3</sup>, 10% = 10820,7 kcal/m<sup>3</sup>, 15% = 13565,55 kcal/m<sup>3</sup> hidrógeno con biogás, teóricamente se determinó que la mezcla del 15% de hidrógeno con 85% de biogás presenta un mejor poder calorífico.
- En la práctica, al someter a la prueba de flama a las mezclas, la mezcla del biogás potenciado (Aguilar-JC74) que presenta las mejores características de combustión es de 10% hidrógeno y con un 90% de biogás, el cual se determinó por observación directa y cálculos, siendo el valor teórico del poder calorífico de 10820,7 kcal/m<sup>3</sup>, demostrando así respecto al biogás común de un poder calorífico de 5335 kcal/m<sup>3</sup>, una mejora tanto en poder calorífico teórico como en las características de su flama.

## RECOMENDACIONES

- Para un mejor desempeño de operación, el generador de hidrógeno de hidrolisis deberá ubicarse cerca del componente que va a ser el complemento de la mezcla, esto ayudara a reducir la perdida en el equipo.
- La caja contenedora de las celdas del generador de hidrógeno de hidrolisis debe ser bien hermetizada, es muy importante que tomen en cuenta este factor, ya que mal hermetizado puede existir pérdidas del producto, y es posible que se asuma que no sirve el generador de hidrógeno de hidrolisis.
- El agua a usar no debe contener aceites o grasas ya que esto provoca una disminución de la conductividad, además es posible que produzcan reacciones no deseadas cuando se agrega el hidróxido de sodio, alterando el hidroxido generado.
- Recomendamos que se utilice los datos y resultados obtenidos en este proyecto para futuras investigaciones de nuevos métodos de producción de hidroxido con menores consumos energéticos.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1) **Alías, J.** *El Motor de Agua*. [En línea]. Girona - España: Planeta Alvi, 2014, (pp.6-14). [Consulta: el 8 de enero de 2016]. Disponible en:  
[https://books.google.com.ec/books?id=7df3CwAAQBAJ&pg=PT22&dq=electrolisis+del+agua&hl=es&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwiN57\\_RucnNAhXI6CYKHSMaDdgQ6AEIHZAB#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=7df3CwAAQBAJ&pg=PT22&dq=electrolisis+del+agua&hl=es&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwiN57_RucnNAhXI6CYKHSMaDdgQ6AEIHZAB#v=onepage&q&f=false)
- 2) **Américo Peretti Hernán & Visintin Arnaldo.** *Hidrógeno, combustible del futuro* [En línea]. Buenos Aires, Argentina: Hernán Américo Peretti, 2015, [Consulta: 05 febrero 2016]. Disponible en: <http://www.inifta.unlp.edu.ar/extension/Hidrógeno.pdf>
- 3) **Andrade Guerrero Juan Xavier & Ochoa Guillén Pedro Luis.** *"Reducción del consumo de energía eléctrica residencial, mediante la aplicación de sistemas termo-solares para el calentamiento de agua sanitaria en viviendas domiciliarias en el cantón Cuenca"* [En línea] (Tesis de Ingeniería). Universidad de Cuenca, Facultad de Ingenieros, Escuela de Ingeniería Eléctrica. Cuenca-Ecuador. 2012, (pp.27-72). [Consulta: 2011-02-05]. Disponible en :  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4630/1/TESIS%20INTEGRAL.pdf>
- 4) **Armendáris, G.** *Química Orgánica Moderna*. Quito - Ecuador: Ediciones Científicas Armendáris, 1989, (pp.39-148).
- 5) **Arranz, F.** *Manual de termodinámica*. [En línea]. New York - U.S.A. : McGraw-Hill, 1965, (pp.21-34). [Consulta: el 8 de enero de 2016]. Disponible en:  
<https://books.google.com.ec/books?id=dvFihZpqPbgC&pg=PA21&dq=libros+de+calorimetria+quimica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjrv31qMnNAhUFHB4KHeaIAx8Q6AEIHZAB#v=onepage&q=libros%20de%20calorimetria%20quimica&f=false>
- 6) **Barrow, G. M.** *Química física para las ciencias de la vida*. [En línea]. Barcelona - España: Reverté S. A., 2006, (pp.197-208). [Consulta: el 8 de enero de 2016]. Disponible en:  
[https://books.google.com.ec/books?id=nW0g\\_71YwlgC&pg=PA197&dq=calorimetria+quimica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwio3caStMnNAhVDeSYKHWSWCzsQ6AEIGjAA#v=onepage&q=calorimetria%20quimica&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=nW0g_71YwlgC&pg=PA197&dq=calorimetria+quimica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwio3caStMnNAhVDeSYKHWSWCzsQ6AEIGjAA#v=onepage&q=calorimetria%20quimica&f=false)

- 7) **Benítez Gaibor, Álvaro Bladimir, & Ramos Valle, Marco Antonio.** *Implementación de un sistema dual fuel, hidrógeno/gasolina en un vehículo de motor de combustión interna* [En línea] (Tesis de Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Mecánica Automotriz. Riobamba-Ecuador. 2014, (pp.4-50). [Consulta: 2016-02-04]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3053/1/65T00102.pdf>
  
- 8) **Borras A.** *Panorama actual sobre la energía del hidrógeno.* [En línea]. Barcelona, España: Alberto Borrás Gabarro, 2009, [Consulta: 3 Febrero 2016]. Disponible en: <https://artursala.wordpress.com/2012/03/01/panorama-actual-sobre-la-energia-del-hidrogeno-un-articulo-de-alberto-borras-gabarro/>
  
- 9) **Castells, X.** *Energía y Transporte* [en línea]. Madrid-España: Ediciones Díaz de Santos, 2012, (pp.33-46). [Consultado: 6 de enero del 2016]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=Dw5Rvw7BmuoC&printsec=frontcover&dq=energia+y+transporte:+javier+elias+castells&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjtvOrzsnNAhWLJh4KHWBmBOMQ6AEIHjAA#v=onepage&q&f=false>
  
- 10) **Chang, R.** *Fisicoquímica.* 3° ed. México- México: Programas Educativos S. A. de C. V., 2000, (pp.75-366).
  
- 11) **Cruz A.** *Sistema híbrido Diesel-Energías Renovables para la generación de Electricidad: Archipiélago los Testigos* [en línea]. Caracas, Venezuela: Annie Daniela Cruz Malpica, 2007, [Consulta: 3 febrero 2016]. Disponible en: <http://159.90.80.55/tesis/000133557.pdf>
  
- 12) **EcuRed.** *Hidróxido de Sodio* [en línea]. La Habana, Cuba: Martín Campos, 2016, [Consulta: 3 Febrero 2016]. Disponible en: [http://www.ecured.cu/Hidr%C3%B3xido\\_de\\_Sodio](http://www.ecured.cu/Hidr%C3%B3xido_de_Sodio)
  
- 13) **Fernández, J. y Pujal, M.** *Iniciación a la física.* [En línea]. Barcelona - España: Reverté, S. A., 1992, (pp.97-113). [Consulta: el 8 de enero de 2016]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=Bfk4imJPqA4C&pg=PA97&dq=electrolisis+del+agua&hl=es&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwiN57\\_RucnNAhXI6CYKHSMaDdgQ6AEIJTAC#v=onepage&q=electrolisis%20del%20agua&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=Bfk4imJPqA4C&pg=PA97&dq=electrolisis+del+agua&hl=es&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwiN57_RucnNAhXI6CYKHSMaDdgQ6AEIJTAC#v=onepage&q=electrolisis%20del%20agua&f=false)

- 14) French, A. & Taylor E.** *Introducción a la Física Cuántica* [en línea]. Barcelona-España: Editorial Reverté S.A., 2003, (pp.4-6). [Consultado: 6 de Enero del 2016]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=sZVgyMj624IC&pg=PA4&dq=libro+de+quimica:+electrolisis+del+agua&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjy5LbcyMnNAhVFrB4KHQdCCGoQ6AEISjAH#v=onepage&q=libro%20de%20quimica%3A%20electrolisis%20del%20agua&f=false>
- 15) Gámez D.** *El hidrógeno y sus aplicaciones energéticas*. [En línea]. Barcelona, España: Daniel Gámez Franco, 2010, [Consulta: 3 Febrero 2016]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/112231477/El-hidrogeno-y-sus-aplicaciones-energeticas>
- 16) Holgado Secas Héctor.** *Estudio, diseño y construcción de un generador de hidrógeno por electrolisis* [En línea] (Tesis de Ingeniería). Universidad de Cataluña, Facultad de Náutica de Barcelona, Especialista en propulsión. Barcelona-España. 2012, (pp.41-120). [Consulta: 2011-02-05]. Disponible en : [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjWte6vw8bMAhXKBcAKHcjZDF0QFghMMAg&url=https%3A%2F%2Fupcommons.upc.edu%2Fbitstream%2Fhandle%2F2099.1%2F15994%2FFPFC\\_hector\\_holgado\\_secas.pdf%3Fsequence%3D1&usq=AFQjCNFJ4KasJSFPBdojVAfGkNJWZaYRKA&bvm=bv.121421273,d.eWE](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjWte6vw8bMAhXKBcAKHcjZDF0QFghMMAg&url=https%3A%2F%2Fupcommons.upc.edu%2Fbitstream%2Fhandle%2F2099.1%2F15994%2FFPFC_hector_holgado_secas.pdf%3Fsequence%3D1&usq=AFQjCNFJ4KasJSFPBdojVAfGkNJWZaYRKA&bvm=bv.121421273,d.eWE)
- 17) Herraiz Cardona Isaac.** *Desarrollo de nuevos materiales de electrodo para la obtención de Hidrógeno a partir de la electrólisis alcalina del agua* [En línea] (Tesis Doctoral). Universidad Politecnica de Valencia. Valencia-España. 2012, (pp.4-235). [Consulta: 2011-02-05]. Disponible en : [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiDtc\\_I6evMAhXKND4KHT8IB-QQFggaMAA&url=https%3A%2F%2Friune.t.upv.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10251%2F16804%2FtesisUPV3881.pdf&usq=AFQjCNGTGw9hR9ZeM3JSV5SXxNQgYpxg&bvm=bv.122448493,d.cWw](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiDtc_I6evMAhXKND4KHT8IB-QQFggaMAA&url=https%3A%2F%2Friune.t.upv.es%2Fbitstream%2Fhandle%2F10251%2F16804%2FtesisUPV3881.pdf&usq=AFQjCNGTGw9hR9ZeM3JSV5SXxNQgYpxg&bvm=bv.122448493,d.cWw)
- 18) Hesperian.** *Guía comunitaria para la salud ambiental, Energía Limpia*. [en línea]. California, USA: Jeff Conant y Pam Fadem, 2011, [Consulta: 3 Febrero 2016]. Disponible en: [http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es\\_cgeh\\_2011/es\\_cgeh\\_2011\\_frente.pdf](http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es_cgeh_2011/es_cgeh_2011_frente.pdf)

- 19) **HHO México & Hidrógeno Automotriz** [en línea]. México, México: Rey Hidrógeno, 2011, [Consulta: 3 Febrero 2016]. Disponible en:  
<http://reyhidrogeno.blogspot.com/2010/01/hho-abc.html>
- 20) **Johnson, R. C.** *Introducción a la química descriptiva* [en línea]. Barcelona-España: Editorial Reverté S.A., 1970, (pp.27-38). [Consultado: 5 de Enero del 2016]. Disponible en:  
<https://books.google.com.ec/books?id=ppFBedgUQNMC&pg=PA126&dq=libro+de+quimica:+el+hidrógeno&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiRqK-zscnNAhXE7iYKHVNYC7cQ6AEIPjAF#v=onepage&q=libro%20de%20quimica%3A%20el%20hidrógeno&f=false>
- 21) **L. Martínez, A. & Ramos, M.** *Análisis del binomio energía-medioambiente* [en línea]. Murcia-España: Editorial Compobell. S.L., 1999, (pp.23-110). [Consultado: 6 de Enero del 2016]. Disponible en:  
<https://books.google.com.ec/books?id=5pqia2TNV3sC&pg=PA3&dq=ANALISIS+DEL+BINOMIO+ENERGIA-MEDIOAMBIENTE&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjJnrT0zcnNAhVD OyYKHGXGPA9UQ6AEIJTAA#v=onepage&q=ANALISIS%20DEL%20BINOMIO%20ENERGIA-MEDIOAMBIENTE&f=false>
- 22) **Lara Guilcapi, Edwin Sebastián, & Hidalgo Chimborazo, María Belén.** *Diseño de un bioreactor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación Tunshi- Epoch* [en línea] (Tesis de Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2011, (pp.6-32). [Consulta: 2016-02-04]. Disponible en:  
<http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/1652/1/236T0056.pdf>
- 23) **López, C.** *Proceso para el tratamiento de residuos ganaderos en la isla de Gran Canaria* [En línea]. Islas Canarias - España: 2008, (pp.6-10). [Consulta: 2016-02-04]. Disponible en:  
<http://www.redisa.uji.es/artSim2008/tratamiento/A13.pdf>
- 24) **Martínez Mosquera & Paúl Esteban.** *Usos finales de energía eléctrica y GLP en el cantón Cuenca* [En línea] (Tesis de maestría). Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador. 2010, (pp.3-98) [Consulta: 2011-02-05]. Disponible en :  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2616/1/tm4280.pdf>

- 25) **Mihelcic, J. R. & Beth, J.** *Ingeniería ambiental*. México- México: Alfaomega Grupo Editor S. A., 2012, (pp.1-307).
- 26) **Ministerio del medio ambiente.** *Física y Química*. Quito - Ecuador: Maya Ediciones C. Ltda, 2012, (pp.14-176).
- 27) **Morrison, R. T. & Boyd, R. N.** *Química orgánica*. 5° ed. México- México: Addison Wesley Longman de México S. A. de C. V., 1998, (pp.39-43).
- 28) **Pacheco, E.** *Principios de Corriente Eléctrica*. México- México: Trillas S. A., 1975, (pp.29-79).
- 29) **Paredes Buenaño, Andrés Eduardo.** *Diseño de un biorreactor para la obtención de biogás y bioabono a partir de residuos orgánicos en el Cantón Patate* [En línea] (Tesis de Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2015, (pp.1-4). [Consulta: 2016-02-04]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4091/1/236T0138%20UDCTFCl.pdf>
- 30) **Pérez, J. & Gardey, A.** *Mezcla* [En línea]. San Francisco - U.S.A. 2012, (pp.1-8). [Consulta: 2016-02-04]. Disponible en: <http://definicion.de/mezcla/>
- 31) **Pinzon, A.** *Física II Conceptos fundamentales y su aplicación*. México - México: Harla S. A. de C. V., 1977, (pp.102-159).
- 32) **Rapin, P. J. & Jacquard, P.** *Instalaciones frigoríficas*. [En línea]. Barcelona - España: Marcombo, S. A., 1997, (pp.128-160). [Consulta: el 8 de enero de 2016]. Disponible en: [https://books.google.com.ec/books?id=LAc3sKX0B\\_MC&pg=PA128&dq=poder+calorimetrico+de+los+combustibles&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwifnuqut8nNAhVMkh4KHauoA3MQ6AEIGjAA#v=onepage&q=poder%20calorimetrico%20de%20los%20combustibles&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=LAc3sKX0B_MC&pg=PA128&dq=poder+calorimetrico+de+los+combustibles&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwifnuqut8nNAhVMkh4KHauoA3MQ6AEIGjAA#v=onepage&q=poder%20calorimetrico%20de%20los%20combustibles&f=false)
- 33) **Roldan, J.** *Energías renovables*. Madrid - España: Impulso Grafico, 2012, (pp.4-190).
- 34) **Sharpe, A.** *Química Inorgánica* [en línea]. 2° ed. Barcelona-España: Editorial Reverté S.A., 1993, (pp.241-249). [Consulta: 5 de Enero del 2016]. Disponible en:

<https://books.google.com.ec/books?id=q1iWMtPDuOMC&pg=PA241&dq=libro+de+quimica:+el+hidrógeno&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiRqK-zscnNAhXE7iYKHAVNYC7cQ6AEIIzAA#v=onepage&q=libro%20de%20quimica%3A%20el%20hidrógeno&f=false>

- 35) Shriver & Atkins.** *Química inorgánica*. 4° ed. Beijín- China: CTPS, 2006, (pp.239-256).
- 36) Vallejo, P.** *Física vectorial básica 3*. 11° ed. Quito - Ecuador: Gráficos Cobos, 2012, (pp.21-147).
- 37) Van Dingenen W.** *Fuentes de energía renovable, fuentes de desarrollo sostenible* [en línea]. Bruselas, Bélgica: William Van Dingenen, 1998, [Consulta: 3 Febrero 2016]. Disponible en: <http://ec.europa.eu/agriculture/rur/leader2/rural-es/biblio/energy/energy.pdf>
- 38) Yunus, A. & Afshin, J.** *Transformación de calor a masa*. 4° ed. México- México: Programas Educativos S. A. de C. V., 2011, (pp.6-77).

## ANEXOS

### ANEXO A. Valores tabulados para los cálculos teóricos.

#### Apéndice A

#### Densidad del agua líquida entre 0 °C y 100 °C. Presión externa: 1 atm

Temperatura °C	Densidad kg / m <sup>3</sup>	Temperatura °C	Densidad kg / m <sup>3</sup>	Temperatura °C	Densidad kg / m <sup>3</sup>
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

Fuente: Wetzel y Linkens, 1990

## Apéndice B

### Densidad del NaOH a distintas concentraciones

Concentración % peso/peso	Densidad
1	1.012
2	1.023
3	1.034
4	1.045
5	1.056
6	1.067
7	1.078
8	1.089
9	1.100
10	1.111
15	1.167
20	1.222
25	1.278
30	1.333

Elaborado por: Aguilar M., Cuvi J., 2016.

## Apéndice C

### Costes de fabricación.

Costo construcción	Común	Serie	Diferencia	% de ahorro
Generador de hidrógeno de hidrolisis	745,00	260,05	484,95	65,094
Biodigestor escala	30,14	24,14	6,00	19,907
<b>Total</b>	<b>775,14</b>	<b>284,19</b>	<b>490,95</b>	<b>63,337</b>

Elaborado por: Aguilar M., Cuvi J., 2016.

## Apéndice D

**Tabla:** Porcentaje de metano según el sustrato del biogás

Tipo de biomasa	Productividad	Unidades	% Metano en biogás
Desmal. y poda	270	m <sup>3</sup> biogás/ton residuo	0.70
<b>Cultivos de Temp.</b>			
Trigo	500	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.60
Maíz	700	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.60
Papa	700	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.60
Raps	200	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.60
Remolacha	500	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.60
<b>Agroindustria</b>			
Vitivinícola	700	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.62
Cervecera	700	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.63
Láctea	500	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.60
Conservera	510	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.60
Bebidas de infusión	330	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.60
Mataderos	430	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.65
RSU	850	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.50
Grasas	430	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.70
Estiércol vacuno	500	m <sup>3</sup> biogás/ton DQO degradado	0.60
Trat. Aner. ARU	480	m <sup>3</sup> biogás/ton DQO degradado	0.63
Lodos PTA	550	m <sup>3</sup> biogás/ton materia orgánica	0.62
Estiércol avícola	520	m <sup>3</sup> biogás/ton DQO degradado	0.58
Estiércol porcino	480	m <sup>3</sup> biogás/ton DQO degradado	0.62

Fuente: Ruiz Cabrera, 2002

Elaborado por: Aguilar M., Cuvi J., 2016.

## ANEXO B. Fotografías del proceso de construcción del prototipo.

### Graduación de la jarra que usaremos a lo largo de las pruebas

**Foto 1**



Volumen a usar, 250 ml

**Foto 2**



La jarra alcanzo 5 medidas, el V fue de 1.25L

### Ensamblado de las celdas del generador de hidrógeno de hidrólisis

**Foto 3**



Ensamblando y alineando las celdas

**Foto 4**



Alineando conductores de las celdas

### Paquete de celdas del generador de hidrógeno de hidrólisis

**Foto 5**



Celdas, placas de tol, pernos, barras aislantes, conductores

## Armando el generador de hidrógeno de hidrolisis

Foto 6



Alineando celda y caja

Foto 7



Sellado de caja contenedora

Foto 8



Iniciando sistema de producción

## Estructura completa del sistema de mezcla

Foto 9



## ANEXO C. Costes de materiales

### Costo de fabricación del generador de hidrógeno de hidrólisis

<b>Materiales</b>	<b>Unidades</b>	<b>Medida</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>V. Total</b>
Manguera	12	1/2 Pulg	0,75	9
Adaptadores	14	1/2 Pulg	0,35	4,9
Adaptadores de metal	6	1/2 Pulg	0,89	5,34
Tapones	12	1/2 Pulg	0,5	6
Embudo	1		6,25	6,25
Abrasaderas	15	1 Pulg	0,67	10,05
Pernos Acero Inoxidable	2	1/2 Pulg	6	12
Arandelas	2	1/2 Pulg	0,5	1
Tuercas	2	1/2 Pulg	0,5	1
Teflon pequeño	2		0,65	1,3
Teflon grande	2		0,89	1,78
Sierra sunflex	2		1,7	3,4
Broca Alemana de taladro	1	1/2 Pulg	3,55	3,55
Broca Alemana de taladro	1	1/4 Pulg	1,12	1,12
Broca Alemana de taladro	1	1/8 Pulg	0,67	0,67
Broca Alemana de taladro	1	1/16 Pulg	0,67	0,67
Multimetro	1		25	25
Flexometro	1	5 m	3	3
Legia Sello Rojo	3		2	6
Tigera para lamina metalica	1		10	10
Pinsa	1		6,8	6,8
Silicon para alta temperatura	3		7	21
Malla fina galvanizada	3	1 m	4,6	13,8
Llave de paso	1	1/2 Pulg	10	10
Cautin	1	80 W	16	16
Cautin	1	100 W	6	6
Estaño para suelda	2		2	4
Reductor de voltage	1	12 V	20	20
Mascarilla	2		0,6	1,2

Guantes de latex	2		0,6	1,2
Rayos inoxidable	4	9 x 12	7,5	30
Tornillos	12	1/4 Pulg	0,3	3,6
Arandelas	12	1/4 Pulg	0,3	3,6
Arandelas alta presion	4	1/4 Pulg	0,45	1,8
Neplo	2	1 Pulg x 25 cm	3,5	7
Neplo	1	1/2 Pulg x 4 cm	2	2
Silicona pasta	1		1,79	1,79
Poma	1	10 Galones	10	10
Tapa hembra	1	4 Pulg	2,5	2,5
Abrasaderas	6	1/2 Pulg	0,6	3,6
Neplo reductor Torneado	1	Universal a 1/2 Pulg	35	35
Pico de Sueda Autogena	1	Universal	45	45
Reducciones	4	1 a 1/2 Pulg	0,65	2,6
Reduccion Galvanizada	1	2 a 1/2 Pulg	3,5	3,5
Cartucho de Silicona	3		8,5	25,5
Porta Cartuchos de silicona	1		2	2
Transporte	1		103	103
Tanque plastico	1	100 L	80	80
Ye tubo	1	1/2 Pulg	0,65	0,65
Prensa	2		17	34
Tubo	1	4 Pulg	8	8
Placas de tol	3	1/4 Pulg	5	15
Termometro	1	300 °C	20	20
Llave de pico y corona	2	19	8,5	17
Llave de tubo	1	2 Pulg	18	18
Cable solido	6	1 m	0,6	3,6
Caja para celda	1	12 L	11	11
Arena ferrica	1	1 kg	0,5	0,5
Arena silica	1	1 kg	1	1
Desarmador estrella	1	5/8 Pulg	9	9
Llave pico y corona	1	9	2,33	2,33
Jarra graduada	1	1250 ml	4	4

Matras Erlenmeyer	1	250 ml	5	5
Probeta graduada	1	25 ml	4	4
Agitador de vidrio	1		3	3
Fosforera	1		0,6	0,6
Lija	2	Pliegos	0,4	0,8
Sepillo de alambre	1		3	3
Mano de obra	2	Días	50	100
<b>TOTAL</b>				835

Elaborado por: Aguilar, M. & Cuvi, J.

## ANEXO D. Fichas internacionales de seguridad química del hidróxido de sodio

### Fichas Internacionales de Seguridad Química

HIDRÓXIDO DE SODIO		ICSC: 0360 Mayo 2010	
CAS: 1310-73-2 NU: 1823 CE Índice Anexo I: 011-002-00-6 CE / EINECS: 215-185-5		Sosa cáustica Hidrato de sodio Sosa NaOH Masa molecular: 40.0	
			
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. El contacto con la humedad o con el agua, puede generar calor suficiente para provocar la ignición de materiales combustibles.	NO poner en contacto con el agua.	En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión en contacto con: (ver Peligros Químicos).	NO poner en contacto con materiales incompatibles. (Ver Peligros Químicos).	
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO! ¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Tos. Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Jadeo.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor. Graves quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa. Quemaduras graves.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Quemaduras en la boca y la garganta. Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Náuseas. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber un vaso pequeño de agua, pocos minutos después de la ingestión. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Protección personal: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente de plástico. Recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 35 S: (1/2)-26-37/39-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Código NFPA: H3; F0; R1		Separado de alimentos y piensos, ácidos fuertes y metales. Almacenar en el recipiente original. Mantener en lugar seco. Bien cerrado. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010			
			

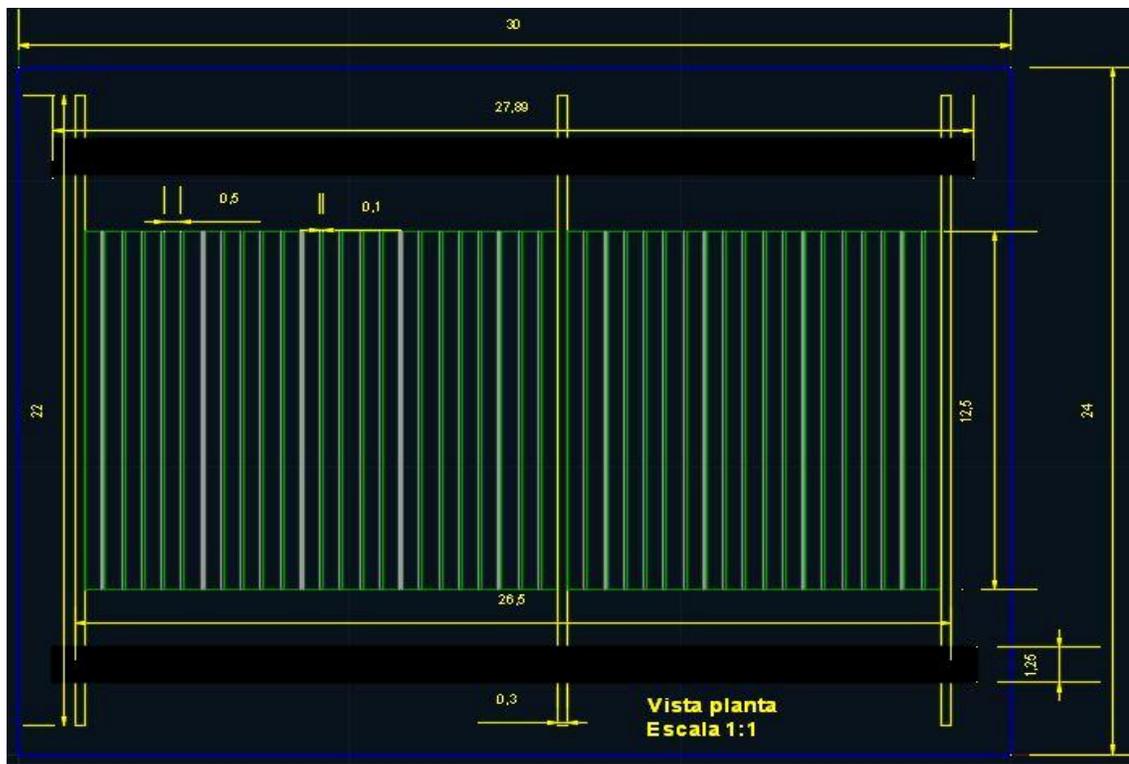
## Fichas Internacionales de Seguridad Química

<b>HIDRÓXIDO DE SODIO</b>		<b>ICSC: 0360</b>
<b>DATOS IMPORTANTES</b>		
<p><b>ESTADO FÍSICO; ASPECTO</b> Sólido blanco e higroscópico, en diversas formas</p> <p><b>PELIGROS QUÍMICOS</b> La disolución en agua es una base fuerte que reacciona violentamente con ácidos y es corrosiva con metales tales como: aluminio, estaño, plomo y cinc, formando gas combustible (hidrógeno - ver FISQ:0001). Reacciona con sales de amonio produciendo amoníaco, originando peligro de incendio. El contacto con la humedad o con el agua genera calor. (Ver Notas).</p> <p><b>LÍMITES DE EXPOSICIÓN</b> TLV: 2 mg/m<sup>3</sup> (Valor techo) (ACGIH 2010). MAK: 1lb (no establecido pero hay datos disponibles) (DFG 2009).</p>	<p><b>VÍAS DE EXPOSICIÓN</b> Efectos locales graves</p> <p><b>RIESGO DE INHALACIÓN</b> Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN</b> La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA</b> El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</p>	
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>		
<p>Punto de ebullición: 1388°C Punto de fusión: 318°C Densidad: 2.1 g/cm<sup>3</sup></p> <p>Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 109 (muy elevada).</p>		
<b>DATOS AMBIENTALES</b>		
<p>Esta sustancia puede ser peligrosa para el medio ambiente. Debe prestarse atención especial a los organismos acuáticos.</p>		
<b>NOTAS</b>		
<p>El valor límite de exposición laboral aplicable no debe ser superado en ningún momento por la exposición en el trabajo. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia; cuando se deba disolver o diluir, añadiría al agua siempre lentamente. Otro n° NU: NU1824 Disolución de hidróxido de sodio, clasificación de peligro 8, grupo de envasado II-III.</p>		
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL</b>		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-EC: 2 mg/m<sup>3</sup></p>		
<b>NOTA LEGAL</b>	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>	
<small>© IPCS, CE 2010</small>		

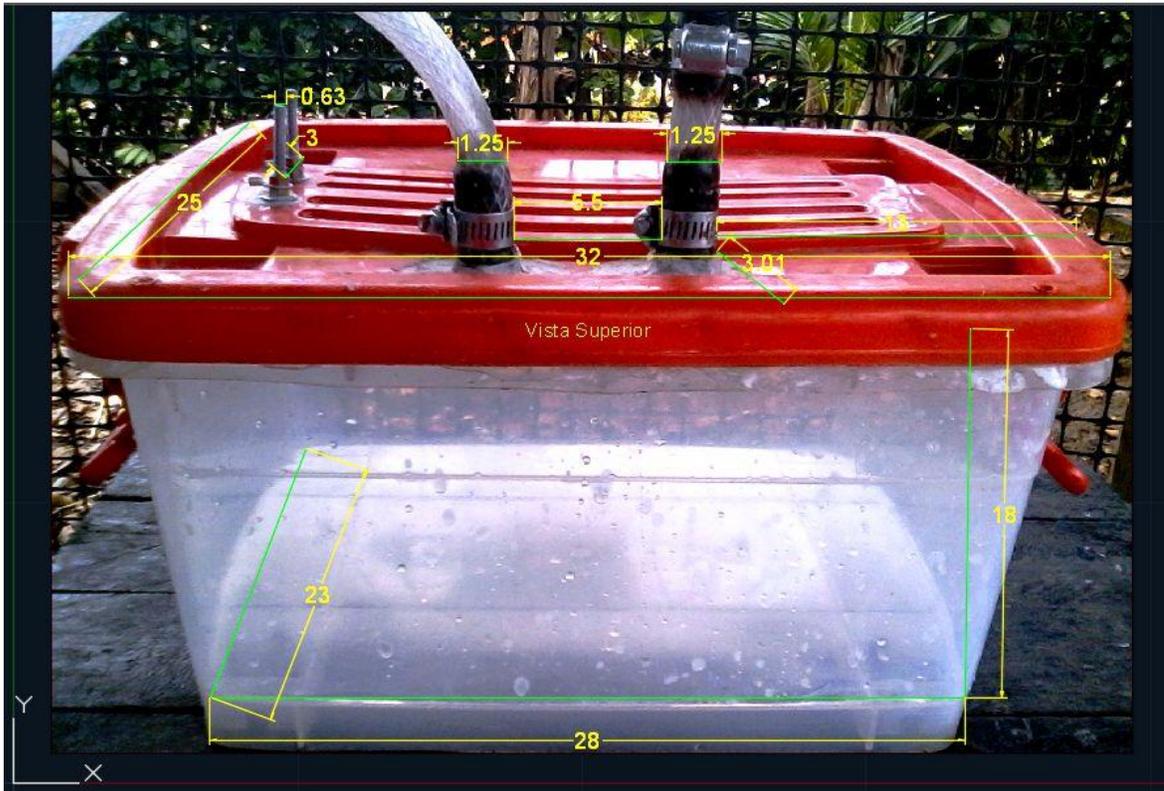
## ANEXO E. Planos del generador



Corte transversal



Vista planta



Vista superior