



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CELDA DE COMBUSTION MICROBIANA (CCMs)”

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTORES: PAUL FERNANDO BUÑAY CUJILEMA

LUIS MIGUEL SANUNGA CASTILLO

DIRECTOR: ING. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA

Riobamba – Ecuador

2019

© 2019, Paúl Fernando Buñay Cujilema y Luis Miguel Sanunga Castillo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimientos, incluyendo las citas bibliográficas del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Paul Fernando Buñay Cujilema – Luis Miguel Sanunga Castillo, declaramos que el Trabajo de Titulación tipo Proyecto Técnico denominado: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA DE COMBUSTION MICROBIANA (CCMs)”, 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, 06 de diciembre de 2019

Paul Fernando Buñay Cujilema

060480106-8

Luis Miguel Sanunga Castillo

060424278-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: el presente trabajo de investigación tipo Proyecto de Investigación “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA CELDA DE COMBUSTION MICROBIANA (CCMs)”, de responsabilidad de los señores: Paúl Fernando Buñay Cujilema y Luis Miguel Sanunga Castillo, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza

2019-12-06

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno

2019-12-06

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Mabel Mariela Parada Rivera

2019-12-06

**MIEMBRO DELEGADO DEL
DECANATO**

DEDICATORIA

A toda mi familia por haberme apoyado en todo momento, por la motivación y el cariño constante que me han ofrecido para ser una persona de bien en el transcurso de la vida, lo que me ha permitido cumplir uno de mis sueños tan anhelados.

Paul Fernando Buñay Cujilema

A toda mi familia por haberme apoyado en todo momento, por la motivación y el cariño constante que me han ofrecido para ser una persona de bien en el transcurso de la vida, lo que me ha permitido cumplir uno de mis sueños tan anhelados.

Luis Miguel Sanunga Castillo

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por su nivel académico desarrollado en los años de estudios, y especialmente al Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA), al Dr. Celso Recalde, Ing. Mayra Zambrano, por su contribución para desarrollar este trabajo fortalecido en amplios conocimientos de investigación.

Mi sincero agradecimiento al Dr. Celso Recalde, Ing. Mayra Zambrano, por su incondicional apoyo y amistad durante el desarrollo de nuestro trabajo.

A todos nuestros amigos por su valioso aporte y sincera amistad.

Paul Fernando Buñay Cujilema - Luis Miguel Sanunga Castillo

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1. Introducción	1
1.2. Identificación del problema	2
1.3. Justificación del problema	2
1.4. Antecedentes	3
1.5. Marco conceptual	4
1.5.1 Bioenergía	4
1.5.1.1. <i>Bioenergía microbiana</i>	4
1.5.1.2. <i>Microorganismos electrogénicos</i>	5
1.5.2. <i>Principios de la celda de combustible microbiana (CCMs)</i>	5
1.5.3. Electrodos	7
1.5.3.1. <i>Ánodo</i>	8
1.5.3.2. <i>Cátodo</i>	9
1.5.3.3. <i>Membrana de intercambio de protones (PEM)</i>	10
1.5.4. Aguas residuales	11
1.5.5. Reacciones de óxido-reducción	12
1.5.6. Sustrato	12
1.5.7. Materia Orgánica	14
1.5.8. Microbiología bacteriana	15
1.5.8.1. <i>Factores de crecimiento microbiano</i>	15
1.5.8.2. <i>Actividad microbiana</i>	16

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	17
2.5. Objetivo General	17
2.6. Objetivos Específicos.....	17

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO	18
3.1. Localización del Proyecto	18
3.2. Ingeniería del Proyecto	19
3.2.1. Tipo de estudio	22
3.2.2. Métodos	22
3.2.3. Marco metodológico	23
3.2.3.1. Diagrama de flujo del proyecto	23
3.2.4. Diseño y Construcción	24
3.2.4.1. Diseño.....	24
3.2.4.2. Construcción.	25
3.2.3.6. Ensamblaje de circuitos	37
3.2.3.7. Monitoreo de la celda combustible microbiana CCMs.....	37

CAPITULO IV

4. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	40
4.2. Diseño	40
4.3. Dimensionado de la cámara anódica	41
4.3.3. Tapa en forma de T	41
4.3.4. Base membrana	42
4.3.5. Base de la celda	43
4.3.6. Protectores	43
4.3.7. Dimensionado Del Ánodo	45
4.3.8. Dimensionado Del Cátodo	46

4.2.7. <i>Dimensionado Del La Membrana De Intercambio Protónico</i>	47
4.3. Construcción y Ensamblaje	48
4.4. Accesorios	49
4.4.1. <i>Tornillos y tuercas</i>	49
4.4.2. <i>Varilla de acero inoxidable</i>	50
4.4.3. <i>Cámara anódica</i>	51
4.4.4. <i>Ánodo</i>	51
4.4.5. <i>Cátodo</i>	51
4.4.5.1. <i>Membrana de intercambio protónico</i>	51
4.4.5.2. <i>Circuitos</i>	51
4.4.6. <i>Análisis de lodos</i>	51
4.4.7. <i>Resultado del testeo</i>	52
4.4.8. <i>Desempeño de las celdas de combustible microbológica</i>	53
4.4.8.1. <i>Curvas de polarización</i>	56
4.5. Cálculos de ingeniería	64
4.5.1. <i>Volumen del cilindro</i>	64
4.5.2. <i>Volumen del lodo</i>	64
4.5.3. <i>Disolución de sustratos</i>	64
4.5.4. <i>Volumen total de la cámara</i>	64
4.5.5. <i>Cálculos estequiométricos de la CCMs con sustrato acetato</i>	65
4.5.5.1. <i>Relaciones electroquímicas</i>	65
4.5.5.2. <i>Análisis termodinámico</i>	65
4.5.5.3. <i>Actividad</i>	65
4.5.5.4. <i>Voltaje de salida teórica</i>	66
4.5.5.5. <i>Pérdidas por activación</i>	66
4.5.5.6. <i>Pérdidas óhmicas</i>	67
4.5.5.7. <i>Pérdidas por concentración de los sustratos</i>	67
4.5.5.8. <i>Voltaje real de la MMCs</i>	68
4.5.5.9. <i>Cálculos estequiométricos de la MMCs con sustrato glucosa</i>	68

4.5.5.10. Relaciones electroquímicas.....	68
4.5.5.11. Análisis termodinámico.....	68
4.5.5.12. Actividad	69
4.5.5.13. Voltaje de salida teórica	69
4.5.5.14. Pérdidas por activación	70
4.5.5.15. Pérdidas óhmicas	70
4.5.5.16. Pérdidas por concentración de los sustratos	71
4.5.5.17. Voltaje real de la MMCs	71
CONCLUSIONES.....	72
RECOMENDACIONES.....	73
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Tipos de electrodos	7
Tabla 2-1. Tipos de acero inoxidable	8
Tabla 3-1. Acero inoxidable características, propiedades y aplicaciones	9
Tabla 4-1. Características y Aplicaciones de la Tela de fibra de carbono	10
Tabla 5-1. Características y aplicaciones del parafilm.....	11
Tabla 6-1. Sustratos utilizados en CCMs	12
Tabla 7-1. Tipos de Materia Orgánica	14
Tabla 58-3. Construcción del ánodo	28
Tabla 69-3. Construcción de la membrana de intercambio protónico.....	29
Tabla 10-4. Dimensionado del ánodo	45
Tabla 11-4. Dimensionamiento del cátodo	46
Tabla 12-4. Análisis de lodos.....	51
Tabla 13-4. Datos de polarización C1	56
Tabla 14-4. Datos de polarización C2.....	57
Tabla 15-4. Datos de polarización C3.....	58
Tabla 16-4. Datos de polarización C4.....	59
Tabla 17-4. Datos de polarización C5.....	61
Tabla 18-4. Datos de polarización C6.....	62
Tabla 19-4. Datos de polarización C7.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Principios de CCMs (No a escala)	6
Figura 2-3. Georreferenciación del Laboratorio de modelación y sistemas del Grupo de Energías Alternativas y Ambiente de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.....	19
Figura 3-3. Dimensionamiento de la cara externa de celda de combustión microbiana en software “SOLIDWORKS 2019”	24
Figura 4-3. Construcción de la celda microbiana.....	25
Figura 5-3. Construcción de la cámara anódica	26
Figura 6-3. Tela de fibra de carbono.....	27
Figura 7-3. Construcción del ánodo.....	28
Figura 8-3. Construcción de la membrana de intercambio protónico	29
Figura 9-3. Montaje de la celda de combustión microbiana (CCMs)	30
Figura 10-3. Muestreo de lodos	32
Figura 11-3. Ilustración del monitoreo de un programa	37
Figura 12-3. Guía de datos.....	39
Figura 13-3. Guía de datos.....	39
Figura 14-3. Guía de datos.....	39
Figura 15-4. Diseño de la CCMs	40
Figura 16-4. Dimensionamiento de la cámara anódica.....	41
Figura 17-4. Tapa en forma de T	42
Figura 18-4. Base de la membrana.....	42
Figura 19-4. Base de la celda.....	43
Figura 20-4. Protectores.....	44
Figura 21-4. Tensores	44
Figura 22-4. Dimensionado del Ánodo.....	45
Figura 23-4. Dimensionado Del Cátodo	47
Figura 24-4. Dimensionado Del La Membrana De Intercambio Protónico	48
Figura 25-4. Modelado de piezas.....	48
Figura 26-4. Piezas en fibra de carbono.....	49
Figura 27-4 Tornillos y tuercas.....	49
Figura 28-4. Varilla de acero inoxidable	50
Figura 29-4. Diagrama de montaje	50

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-4. Reacción general	46
Ecuación 2-4. Semirreacción del sustrato (acetato de sodio)	46
Ecuación 3-4. Semirreacción del sustrato (glucosa)	46
Ecuación 4-4. Interacción del cátodo en el ambiente	47
Ecuación 5-4. Volumen del cilindro	64
Ecuación 6-4. Volumen del lodo	64
Ecuación 7-4. Molaridad	64
Ecuación 8-4. Volumen de la cámara	64
Ecuación 9-4. Estequiométricos de la MMCs con sustrato acetato	65
Ecuación 10-4. Relaciones electroquímicas	65
Ecuación 11-4. Análisis termodinámico	65
Ecuación 12-4. Equilibrio químico	65
Ecuación 13-4. Ecuación de nernst	66
Ecuación 14-4. Butler-Volmer	67
Ecuación 15-4. Ecuación de Tafel	67
Ecuación 16-4. Ley de Ohm modificada	67
Ecuación 17-4. Ecuación de Nernst	67
Ecuación 18-4. Ley de Fick	67
Ecuación 19-4. Voltaje real	68
Ecuación 20-4. Relaciones electroquímicas	68
Ecuación 21-4. Equilibrio químico	69
Ecuación 22-4. Ecuación de Nernst	69
Ecuación 23-4. Butler-Volmer	70
Ecuación 24-4. Ecuación de Tafel	70
Ecuación 25-4. Ley de Ohm modificada	70
Ecuación 26-4. Ecuación de Nernst	71
Ecuación 27-4. Ley de Fick	71
Ecuación 28-4. Voltaje real	71

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1. Curva de crecimiento microbiano.....	16
Gráfico 2-4. Resultado del testeo.....	52
Gráfico 3-4. Crecimiento de microorganismos C1	53
Gráfico 4-4. Crecimiento de microorganismos C2	53
Gráfico 5-4. Crecimiento de microorganismos C3	54
Gráfico 6-4. Crecimiento de microorganismos C4	54
Gráfico 7-4. Crecimiento de microorganismos C5	55
Gráfico 8-4. Crecimiento de microorganismos C6	55
Gráfico 9-4. Crecimiento de microorganismos C7	56
Gráfico 10-4. Curva de polarización C1	57
Gráfico 11-4. Curva de polarización C2	58
Gráfico 12-4. Curva de polarización C3	59
Gráfico 13-4. Curva de polarización C4	60
Gráfico 14-4. Curva de polarización C5	61
Gráfico 15-4. Curva de polarización C6	62
Gráfico 16-4. Curva de polarización C7	63

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Planos de la CCMs

ANEXO B. Planos de la CCMs

ANEXO C. Planos de la CCMs

ANEXO D. Planos de ensamblaje de la CCMs

ANEXO E. Equipos Utilizados

ANEXO F. Materiales utilizados para la construcción de la celda microbiana

ANEXO G. Muestreo de Lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Cajabamba

ANEXO H. Colocación del lodo y sellado de la celda

ANEXO I. Monitoreo de la CCMs

ANEXO J. Resultados del Análisis Físico-Químico de Lodos

ANEXO K. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-13 Gestión Ambiental. Calidad de agua. Muestreo.

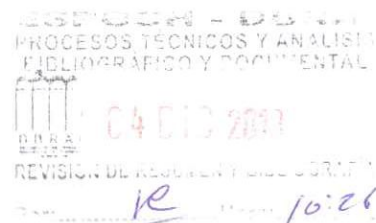
ANEXO L. Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-13 Gestión Ambiental. Calidad de agua. Muestreo

9-XII-19
12h=0

RESUMEN

El objetivo fue el diseño y construcción de una celda de combustión microbiana (CCMs). La generación de la bioelectricidad en nuestro país ha sido un tema de interés, con el cual se ha buscado disminuir la contaminación generada por desechos orgánicos y así obtener una forma de energía renovable, siendo esta una nueva alternativa en la producción de la misma. Por lo que el objetivo fue ejecutado con un nuevo diseño que incrementa el área de contacto de superficie proporcionando un incremento en la producción de bioelectricidad, en la que fueron identificados los materiales adecuados y reutilizables para el mejor desempeño de la celda. Por lo tanto, los componentes de la celda están divididos en tres partes la base y tapa, las bases de la membrana donde van sujetas varillas de acero inoxidable a la cual los cubre el parafilm y finalmente, los sujetadores de la celda. Dentro de la misma se colocó lodos y un sustrato de glucosa y acetato de sodio respectivamente, la celda consta de un ánodo (malla de acero inoxidable) y un cátodo al aire libre (tela de fibra de carbono). Nuestra celda de combustión microbiana a comparación de investigaciones anteriores del Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) proporciona un considerable incremento del 200% en comparación con las otras celdas que llegan hasta los 400 mV, dando a notar una mejora del diseño. De igual manera se verifico que los electrodos tuvieron un funcionamiento apropiado en el intervalo de tiempo de 15 días de monitoreo interrumpido. El análisis de los resultados determino una producción promedio de las 7 celdas. A los que se los considera voltajes altos.

PALABRAS CLAVES: <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <DISEÑO DE CELDA MICROBIANA>, <CONSTRUCCIÓN DE CELDA>, <BIOELECTRICIDAD>, <VOLTAJE>, <MALLA DE ACERO INOXIDABLE>, <TELA DE FIBRA DE CARBONO>, <PARAFILM>.



ABSTRACT

The objective was the design and construction of a microbial combustion cell (CCMs). The generation of bioelectricity in our country has been a topic of interest, which has sought to reduce the pollution generated by organic waste and thus obtain a way of renewable energy, being this a new alternative in the production of it. Therefore, the objective was executed with a new design that increases the surface contact area providing an increase in bioelectricity production, in which adequate and reusable materials were identified for the best performance of the cell. Consequently, the components of the cell are divided into three parts, the base and lid, the bases of the membrane where stainless steel rods are attached to which the parafilm covers them and finally, the cell fasteners. Sludge and a glucose and sodium acetate substrate were placed inside it, the cell consists of an anode (stainless steel mesh) and an outdoor cathode (carbon fiber fabric). Our microbial combustion cell compared to previous research of the Alternative Energy and Environment Group (GEAA) provides a considerable increase of 200% compared to the other cells that reach up to 400 mV, noting an improvement in the design. Likewise, it was verified that the electrodes were functioning properly in the time interval of 15 days of interrupted monitoring. The analysis of the results determined an average production of the 7 cells. Those who are considered high voltages.

KEY WORDS: < ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY >, <MICROBIAL CELL DESIGN>, <CELL CONSTRUCTION>, <BIOELECTRICITY>, <VOLTAGE>, <STAINLESS STEEL MESH>, <CARBON FIBER FABRIC>, <PARAFILM>.



CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Introducción

En el presente, la fuente primordial de energía en el globo es el petróleo y sus respectivos derivados obtenidos en la industria petroquímica como la gasolina. Debido a esto las reservas de esta materia prima se han reducido en una forma abismal provocando que se busque formas más ecológicas, las cuales tienen un costo monetario bajo, estas son generadoras de energía renovable y amigable con el medio ambiente, es decir, se busca una fuente que energía que asimile las del petróleo como por ejemplo su costo de producción, eficiencia térmica, su almacenamiento, transporte, sin que estos tengan grandes emisiones a la atmósfera, no se las realice en ecosistemas protegidos y que sus residuos no sean tóxicos como los derrames de petróleo. (Pachano, 2014)

Las fuentes principales de energías alternativas se encuentran: energía eólica, solar, bioelectricidad y biocombustibles. La generación de bioelectricidad es una técnica que utiliza residuos para generar la misma, ayudando a que la contaminación disminuya, la necesidad de energía eléctrica y la creciente generación de desechos, estos utilizados debido a sus recursos biológicos, los cuales se encuentran en todos los hábitat del planeta los cuales pueden ser transformado en bioelectricidad u otros combustibles, la obtención de este tipo de energía representa un incremento considerable en la producción referido a la forma habitual de obtenerla, por la quema de combustibles fósiles y lo vale la pena en la economía de un país, si se lo realiza pequeñas cantidades mientras que su producción a gran escala se tornaría una idea viable reducción paulatinamente sus costos.

La oferta energética del Ecuador es generada principalmente por fuentes hidráulicas (energía potencial por agua), térmicas (calor generado por la quema de hidrocarburos), solares (sol), eólicas (viento) y del uso de la biomasa (orgánicos). Los datos de la producción del país, cuenta con más de 5000 MW la capacidad energética se divide de la siguiente manera: 46, 28%

térmica, 49,72% hidráulica, 0,14% solar, 1,94 % Importaciones, 1,55% Biomasa y 0,38% eólica esto nos da a conocer que la producción está regida por la quema de hidrocarburos dentro de la matriz de eléctrica nacional (Multianual, 2011).

1.2. Identificación del problema

Las centrales eléctricas de tipo térmicas son alimentadas con combustibles hidrocarburos, es el principal factor de acaparamiento de gas que provoca el cambio climático del planeta. Estos procesos dan lugar a una producción energética que no logra ser sustentable, donde la generación eléctrica se produce a razón de incrementar el uso de hidrocarburos (Igor Marco S, 2012). El problema de la relación de la producción energética con el medioambiente genera el desarrollo de nuevas fuentes de obtener energía limpia; así como procesos industriales con un mayor rendimiento de recursos a su disposición. Las CCMs son capaces de generar bioelectricidad gracias a los procesos metabólicos de los microorganismos, asignando protocolos que permiten la obtención de potencia por medio microorganismos que degradan la materia orgánica presente apoyadas por sustratos (Zheng, Kazumi, & Waite, 2001)

La ejecución de las CCMs como productora de energía limpia se hace cada vez más prometedora a medida que se plantean distintas metodologías y modelos orientados a obtener potencias y eficiencias mayores, minimizando los costos, son capaces de transformar los desechos líquidos aguas grises y negras en combustibles con menor impacto. El presente trabajo pretende desarrollar el diseño y construcción de celdas de combustible microbianas generando bioelectricidad, permitiendo explorar una vía potencial para combatir el prolongado uso de hidrocarburos en la generación de electricidad, tomando en cuenta que el modelo propuesto en nuestro proyecto a desarrollar tiene como fin su reutilización (Sacco, Bonetto, & Cortón, 2008).

La problemática de los desechos en las aguas residuales de la Parroquia Cajabamba del Cantón Colta perteneciente a la Provincia de Chimborazo, los que han sido reconocidos por el grupo de investigación de Energía Alternativas y Ambiente (GEAA), por lo que se procederá a utilizar dichos lodos como inóculo en la CCMs, obteniendo bioelectricidad.

1.3. Justificación del problema

La demanda mundial energética actual busca establecer nuevas fuentes de generación energética que mantengan un principio de sustentabilidad con el ambiente, por esta razón se desarrolla el

interés de investigadores para incursionar en nuevas formas de obtención de energía eléctrica que produzcan un impacto social positivo en aquellas regiones sin acceso a la red eléctrica indica un predominio en el consumo de fuentes fósiles dentro de la matriz de eléctrica nacional en el caso de implementarse este proyecto se ayudaría abastecer energía eléctrica a partir aguas residuales y disminuyendo la contaminación del medio ambiente (Song et al., 2003).

El presente proyecto propone fundamentar la implementación de celdas de combustión microbiana en la generación de bioelectricidad; aprovechando el uso de herramientas tecnológicas para su diseño y construcción, que consiente convertir materia orgánica en bioelectricidad por medio de microorganismos presentes, se las puede utilizar dentro de la industria ya que hoy en día significa un problema ambiental, estético y contaminante centrados en el uso de lodos (inoculo), al cual se agrega un sustrato (glucosa, acetato), por medio de su construcción mediante esta se lograra cuantificar la producción de bioelectricidad (Mateo, et.al, 2019).

El grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) de la ESPOCH de Chimborazo, tiene como objetivo desarrollar campos de investigación orientado a solucionar la problemática que existe en el país del consumo de energía eléctrica, buscando nuevos métodos de obtención de esta, en la cual está incluido la utilización de lodos irradiados (inoculo). Como resultado se de este estudio es obtener una celda de combustible microbiana en la cual se pretende usar sustrato (Glucosa, Acetato), siendo su objetivo principal la obtención de electricidad y reutilizar dicha celda. Lo que permite que no se generen más residuos y a su vez obteniendo energía limpia a gran escala, siendo esto un promotor de la economía del país.

1.4. Antecedentes

Las CCMs son una tecnología que está siendo una singular presentación en las investigaciones para la producción de energías sustentables y la reducción de contaminantes en las aguas (Juan, 2014). Este tipo de tecnología se encuentra regida por las reacciones de oxidación y reducción que ocurren de forma simultánea. Por otra parte, la presencia de microorganismos y su fijación en los electrodos proporcionan la idea que se produce la reacción en la que se reduce el oxígeno (De Souza, De Sousa, Dos Reis Júnior, & De Carvalho Mendes, 2015). En investigaciones realizadas anteriormente se ha usado la tecnología de la CCMs con suelo de paramos, lodos de tratamientos de aguas, también como de sustratos puros y complejos (glucosa, acetato, entre

otros.), esto debido a su gran presencia en forma de residuos en nuestro medio. Se logró distinguir los nutrientes necesario y su cantidad por un análisis físico-químico de los lodos presentes en los cuales existe generación de bacterias electrogénicas, las que son fuentes de bioelectricidad y promotoras en la degradación de materia orgánica (Pascual & Venegas, 2010). La investigación da paso a la conclusión que la temperatura influye en la fase latente durante el experimento de la CCMs, la que desempeño su funcionamiento a temperatura ambiente produciendo bioelectricidad y una notable degradación de la materia orgánica (Fuentes Yagüe, 1999)

1.5. Marco conceptual

1.5.1 Bioenergía

Bioenergía es la energía que resulta de la biomasa, es decir, materia orgánica la cual es producida o un subproducto de seres vivos. La biomasa se clasifica en 3 grandes grupos los cuales son.

- Biocombustibles, (leña, carbón vegetal, paja, residuos forestales, bagazo de caña entre otros sólidos.) son usados en cocción de alimentos, calentar agua, electricidad, etc.
- Biocarburantes, (bioetanol, aceites vegetales, aceite de cocina convertido en biodiesel) este tipo de materiales provienen de un sin número de cultivos como maíz, caña de azúcar, soya etc.
- Biogás (metano) se obtiene de la fermentación de diversos residuos orgánicos (estiércol) o de la basura depositada en rellenos sanitarios o de yacimientos naturales.

Dos de estos grupos tienen la facultad de sustituir a los combustibles fósiles sin producir un incremento en la emisión de gases a la atmosfera evitando el cambio climático, además este tipo de combustibles son tan fáciles de almacenar como los combustibles fósiles (Sampeiro & Mart, 2010)

1.5.1.1. Bioenergía microbiana

Es la generación de electricidad a partir de sistemas biológicos, es decir, esta energía obtiene de la degradación de los alimentos, la cual se lleva a cabo después de una variedad de reacciones químicas conocida como catabolismo (Ordorica, De, & Velázquez, 2009). Los microorganismos responsables de la generación de energía eléctrica se los conoce como “bacterias electrogénicas”, las cuales habitan en lugares anaeróbicos como en los sedimentos de ríos.

Estos microorganismos capaces de ceder o recibir electrones los cuales pueden cumplir su función gracias a una proteína conocida como Citocromo C, esta proteína es un poco más sencilla de aislar debido a que habita en la membrana celular, y se puede lograr su aislamiento por medio de una solución salina, lo que se busca de esta proteína es que se la puede encontrar en células tanto anaerobias como aerobias; ya que esta usa una variedad de elementos o compuestos en células anaerobias, donde es causante de la respiración de las células eucariotas como de las procariotas (Colman, Costa, Chaves, & Tórtora, 2015)

1.5.1.2. Microorganismos electrogénicos

En los últimos años se ha comprobado la eficiencia de ciertos microorganismos en la producción de una energía alternativa, por diversos métodos, los organismos de los cuales hablamos son lo que habitan en las condiciones más extremas que proporciona este mundo desde temperaturas bajo cero a vivir en un medio ácido. Se opta por usarlas ya que no solo proporcionan una fuente de energía sustentable, sino que también son capaces de reducir gradualmente la contaminación (Andrés, Gómez, Alejandro, & Olvera, 2017).

La bioelectricidad o electrogénesis, es la producción de electricidad que se elabora por seres vivos, lo que permite tener una visión de una fuente de energía renovable capaz de un gran potencial, además presenta ventajas con respecto a los métodos convencionales usados (hidroeléctrica, quema de combustibles fósiles), ya que su producción es mucho más económica, ayuda con la reducción de los contaminantes inorgánicos y su materia prima es materia orgánica la cual por un proceso metabólico produce la misma (Sacco, Bonetto, & Cortón, 2008)

Este proceso requiere un ambiente favorable para que el microorganismo se desempeñe a su máximo potencial al poder degradar materia orgánica y los iones de ciertos metales que se encuentre presentes; mientras el microorganismo tenga la facultad de eliminar el exceso de electrones producidos por una liberación de energía en un proceso catabólico (Andrés et al., 2017)

1.5.2. Principios de la celda de combustible microbiana (CCMs)

Las celdas de combustible microbiana se la considera una nueva tecnología, relativamente barata, reutilizable y renovable que llega a mejorar dos puntuales problemas en la sociedad; el primero la siempre necesidad de más energía eléctrica y la segunda la contaminación de agua. Una CCMs es un dispositivo que dispone de microorganismo los cuales transforman energía

química en energía eléctrica por medio de un sustrato, esto se lleva a cabo cuando las condiciones son idóneas para que un microorganismo pueda realizar las reacciones requeridas en su metabolismo para la conversión de energías antes mencionadas.(Revelo & Hurtado, 2013)

Las CCMs poseen una particularidad con respecto a otros sistemas de generación de electricidad ya que operan con una eficiencia aceptable a temperatura ambiente y temperaturas bajas, su emisión de CO₂, en referencia a dispositivos que queman combustibles fósiles destinadas para mismo propósito.(Revelo & Hurtado, 2013).

Una de las dificultades que presentan las CCMs la relativa baja potencia de electricidad. Esto se incrementa cuando los dispositivos poseen escalas mayores. Un ejemplo de ampliación cuando se incluye un recorrido de larga distancia para los protones generados lejos de la membrana de intercambio de protones con el cátodo de una CCMs.(Rabaey et al., 2011) Un modelo de CCMs era el diseño de una célula H, involucraba dos recipientes conectados por un canal y una membrana su función era que mantener los electrolitos del ánodo y cátodo respectivamente sin que se mezclaran.(Min, Kim, Oh, Regan, & Logan, 2005)

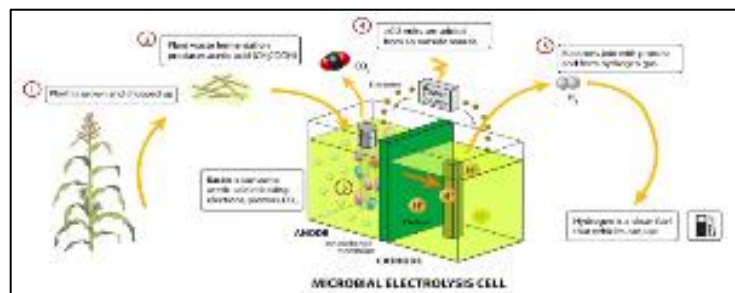


Figura 1-1. Principios de CCMs (No a escala)

Fuente:(Larminie., 2003)

En el ánodo una bacteria puede transferir electrones obtenidos de un donador (sustrato) al electrodo localizado en el ánodo. Este puede ocurrir por diversos medios ya sea por contacto directo, cables o por electrones móviles; durante lo cual los electrones y protones de producción son producidos en exceso. Estos protones se transfieren por medio de la membrana de intercambio catiónico (PEM) a la cámara adjunto (cátodo).

Al existir una cantidad considerable de diseños de CCMs, las cuales tienen un uso extenso y al tener un costo muy bajo en su producción en la forma habitual de “H” la que consiste en que dos recipientes(botellas) se encuentren unidas por un tubo que contienen un separador(membrana de intercambio catiónico), uno de ellos puede ser Nafion (Mocali¹, Fani², &

Graziani, n.d.), el secreto de este tipo de celda es elegir una membrana que permita la transferencia de protones entre las cámaras de una manera eficiente sin que el sustrato o los electrones ejecuten la misma función, la membrana es sujeta en medio de los tubos de conexión de las botellas, permitiendo que las dos cámaras se mantengan separadas. (Alzate-Gaviria, Fuentes-Albarrán, Álvarez-Gallegos, & Sebastian, 2008)

Un material identificado para que constituya la celda es el grilón el cual es un termoplástico el cual es de uso cotidiano por sus propiedades mecánicas, térmicas, químicas, eléctricas, etc. Este material duro elástico con alta resistencia a la abrasión, con una dureza y tenacidad la cual es adecuada para piezas como engranajes, tornillos, piezas deslizables, toda pieza que se someta a desgaste e impacto, un gran factor del material es que no se produce corrosión, posee un peso específico bajo, no es tóxico, insípido e inodoro y se puede utilizar en el contacto con los alimentos, no es higroscópico, no sufre envejecimiento, no requiere mantenimiento, fácil de moldear y mejorando la eficiencia del equipo. (Morris, 1989)

1.5.3. Electrodos

Es una superficie donde ocurren reacciones de óxido-reducción, se utiliza para poner en contacto con la parte no metálica del circuito (un electrolito, un gas o un semiconductor), este tipo de procesos se llevan a cabo mientras cualquier metal presente se encuentre en contacto con un electrolito. (Ciganda, Quim, & Bussi, 2004) Uno de los materiales preferidos para electrodos es, el grafito por su precio relativamente barato, fáciles de conseguir, manejar y su área de superficie muy bien definida, también la fibra de carbono por demostrar la intensidad de corriente con la superficie total interna.

Tabla 1-1. Tipos de electrodos

TIPOS	DESCRIPCIÓN
Electrodos activos	Estos electrodos participan en la reacción química de la pila y se consumen a medida que se va produciendo la reacción.
Electrodos inertes	Los electrodos inertes no participan en la reacción de la pila y van proporcionando el soporte donde ocurre la transferencia de electrodos.

Electrodo óxido-reducción	El electrodo óxido-reducción está formado por un metal inerte sumergido en una solución, la cual contiene dos estados diferentes de oxidación de un elemento.
Electrodo metal-ión metal	El electrodo metálico se encuentra sumergido en una disolución de iones de cualquier metal y este electrodo interviene en la reacción.
Electrodo metal-sal insoluble	Se utilizan como electrodos de reducción y consiste en poner en contacto el metal sumergido en una disolución, que contiene el anión de la sal.

Fuente: (Rodas, 2010)

Realizado por: Buñay, P.; Sanunga, M. 2019

1.5.3.1. Ánodo

Los materiales usados en el ánodo deben poseer la facultad de ser estable, biocompatible y conductora químicamente en la solución designada. Un ánodo metálico que posee una malla de acero inoxidable la cual no puede corroerse. El material más viable es el carbono como grafito compacto, gránulos, etc. (Tanisho, Kamiya, & Wakao, 1989)

Acero inoxidable está constituida por una aleación de acero con un porcentaje mínimo entre 10-12% de cromo; también puede contener otros metales como el níquel, este acero posee una elevada resistencia a la corrosión la cual se debe a que es una aleación que posee metales con gran afinidad al oxígeno, dando lugar a una capa pasivadora la cual protege al hierro de la corrosión.(Brearley, 1948)

Tabla 2-1. Tipos de acero inoxidable

TIPOS	DESCRIPCIÓN
Ferríticos	Los aceros inoxidables que poseen únicamente en su aleación al cromo. Son magnéticos y se distinguen porque son atraídos por el imán. Ejemplo: tipo 430, 409 y 434.
Austeníticos	Los aceros inoxidables que poseen entre sus elementos de aleación superior a un 7% de Níquel, no que los vuelve no magnéticos. Ejemplo: Tipo 304, 304L, 316, 316L, 310 y 317.

Fuente: (INOXCENTER, 2018)

Realizado por: Buñay, P.; Sanunga, M. 2019

Tabla 3-1. Acero inoxidable características, propiedades y aplicaciones

TIPOS	CARACTERÍSTICAS	PROPIEDADES	APLICACIONES
430	Ferrítico, magnético	<ul style="list-style-type: none"> - Buena conductividad - Buena resistencia a la oxidación - Buen comportamiento a operaciones de doblamiento - Resistente a la corrosión 	Campanas extractoras, hornos eléctricos, utensilios de cocina
304	Austenítico, no magnético	<ul style="list-style-type: none"> - Excelente resistencia a la corrosión - Alto factor de higiene-limpieza - Altas propiedades mecánicas - Alta resistencia en temperaturas bajo cero como a temperaturas de ebullición 	Petroquímica, industria alimenticia, industria química, industria farmacéutica, etc.
316	Austenítico, no magnético	- Alta resistencia a la corrosión, por picaduras, por elementos como el fluor, cloro, bromo, yodo	Ambientes salinos, procesos industriales, etc.

Fuente: (INOXCENTER, 2018)

Realizado por: Buñay, P.; Sanunga, M. 2019

1.5.3.2. Cátodo

El oxígeno es un receptor de electrones adecuado para CCMs por su alto potencial de oxidación, su costo bajo, la abundancia de este y su inexistencia de residuos tóxicos como producto. El material que se elige para el cátodo es el principal responsable del rendimiento y varía según la aplicación a la que fue designada, en las diversas celdas que se encuentra en el medio.(Bond, 2002)

La tela de fibra de carbono posee una gran resistencia y rigidez, al igual que un peso ligero. Este tejido es apto para cambios bruscos de temperatura, esto da paso a una fortaleza frente a factores externos. (MCs. Lebrão, 2014)

Tabla 4-1. Características y Aplicaciones de la Tela de fibra de carbono

CARACTERISTICAS	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none">- Alta flexibilidad- Alta resistencia- Bajo peso- Tolerancia a altas temperaturas- Baja conductividad térmica- Elevada resistencia mecánica- Baja densidad- Buena tolerancia a diversos agentes externos.	<ul style="list-style-type: none">- Refuerzo de piezas estructurales en construcción.- Acabado de superficies: paredes, tuberías, columnas, tableros.- Restauración de estructuras dañadas.- Piezas compuestas.- Laminados.- Acabados.- Refuerzo de paneles de vehículos.- Refuerzo de elementos moldeados como por ejemplo asientos.- Refuerzo para moldes de fibra de carbono.

Fuente: (KITFIBRA, 2019)

Realizado por: Buñay, P.; Sanunga, M. 2019

1.5.3.3. Membrana de intercambio de protones (PEM)

Para la membrana de intercambio de protones los materiales destinados deben tener una gran selectividad de protones y estabilidad para que el funcionamiento de la CCMs sea el adecuado. Donde la PEM canaliza los protones en la dirección ánodo cátodo, donde la PEM más versátil en el medio es de Nafion 117, el cual tiene un gran potencial de selectividad de protones.

El parafilm es uno de los materiales preferidos dentro de los laboratorios para proteger los instrumentos. El Parafilm se compone de materiales de olefina (elaborados de gas de propileno y etileno). Esta olefina se puede formar en fibra gruesa además un agregado de cera como capas de Parafilm, la cual le brinda resistencia a la temperatura. (Juszczak, 1980)

Tabla 5-1. Características y aplicaciones del parafilm

CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> - Es altamente sensible al vapor de la humedad - Es permeable al gas - Es considerado como el producto ideal cuando se trabaja con medios de cultivo. - Ofrece gran resistencia a la humedad - Puede ser replegada hasta en un 200% de su tamaño original 	<ul style="list-style-type: none"> - Envoltura para los vendajes húmedos - Lazos de drenaje - Recubrimientos de botellas - Recubrimientos recipientes - Recubrimientos Instrumentos - Sello hermético para cualquier recipiente - Evita evaporación de muestras - Evita contaminación de muestras - Protege envases - Protege tubos de cultivo - Protege cajas petri - Protege objetos con superficie irregular - Creación de Injertos

Fuente:(DILABSA, 2019)

Realizado por: Buñay, P.; Sanunga, M. 2019

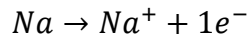
1.5.4. Aguas residuales

Los sistemas bio-electroquímicos se aplican para la generación de electricidad en los cuales se utiliza sustratos puros como glucosa y acetato los cuales dan paso a que se los pueda incluir en el uso de sustratos complejos, los que a su vez son partidarios con el medio ambiente, presentando un método de biorremediación en aguas residuales en las que se presenta una gran carga de materia orgánica. Estos sustratos son económicos, con múltiples aplicaciones, abundantes y son fáciles de adquirir proporcionando un tratamiento a estas aguas residuales los cuales son domésticos o industriales.(Revelo, Hurtado, & Ruiz, 2013). Para una producción con menos contaminantes al finalizar los procesos industriales, implementando tecnología alternativa la cual puede ser la ejecución de las CCMs las cuales ayudan a la disminución de contaminantes causadas por diversos procesos químicos, dichas sustancias tienen un efecto negativo en la salud y aun peor en el medio ambiente. Al aplicar esta tecnología se logra reducir de una manera sustancial la contaminación y generar electricidad.

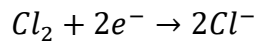
1.5.5. Reacciones de óxido-reducción

Este tipo de reacción es muy frecuente en la química, es la que produce una transferencia de electrones entre los reactivos presentes en la reacción.

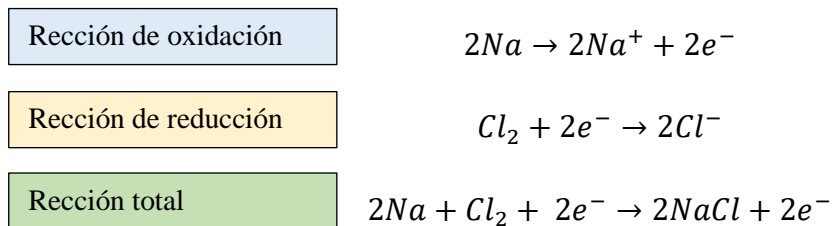
- **OXIDACIÓN:** la oxidación se lleva a cabo siempre que uno o varios átomos pierden electrones (carga positiva).



- **REDUCCIÓN:** la oxidación se lleva a cabo siempre que uno o varios átomos gane electrones (carga negativa).



Las reacciones de oxidación y reducción se producen simultáneamente, cada una es denominada **semirreacción**, mientras que la reacción total es la suma de ambas.



Estas reacciones se las conoce como oxido-reducción (reacciones redox), en ellas existe transferencia de electrones desde la sustancia que se oxida hacia la que se reduce.(Rojas, 2012)

1.5.6. Sustrato

Un sustrato es uno de los puntos más importantes en el momento del funcionamiento de la celda, y no menos importante en la generación de bioelectricidad. Donde existen una amplia variedad de sustratos puros y compuestos.(Revelo et al., 2013). Un sustrato puro es la glucosa, y este al ser de fácil acceso y relativamente económico utilizándola en su esta de fermentación se la aprovecha de una mejor manera incrementando su eficiencia por la bacteria que habitan el medio (Pant, Van Bogaert, Diels, & Vanbroekhoven, 2010)

Tabla 6-1. Sustratos utilizados en CCMs

Características de la CCMs	Bacterias	Sustratos	Tipos de electrodo	DP (mW/m ²)	RI (Ω)	EC (%)
Cámara doble, MIP Nafion 117	Lodo anaeróbico	Acetato	Papel carbón (ánodo), platino (cátodo)	7200	960	50-60
Cámara sencilla, sin membrana	Mezcla de bacterias	Acetato, aguas residuales	Fibra de carbono	6860	235	-
Cámara doble, MIP Ultrex	Lodo metalogénico, anaerobio, granular	Glucosa	Varilla de grafito, 5 mm de diámetro	4310	-	-
Cámara doble, MIC Nafion 117	<i>Geobacter sulfurreducens</i> KN400	Acetato	Varilla de 7.1 x 10 ⁴ m ² (ánodo), tela de grafito 6.4516 cm ² (cátodo)	3900	0.015	-
Cámara sencilla MIP 115	Lodo de digestor anaeróbico	Glucosa y acetato	Filtro de carbono suspendido en varilla de grafito	3650	27	88±5.7
Cámara doble. MIP Ultrex	Cultivo mixto	Glucosa	Grafito plano, 50 cm ²	3600	-	89±4

Fuente: (Revelo et al., 2013)

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Los sustratos complejos en una CCMs son muy importantes ya que al ser fuente de energía estos se pueden degradar y ayudar a la biorremediación antes de exponerla al medio ambiente. En relación a los sustratos puros requieren de una variedad de microorganismos electroquímicamente activos (Pant et al., 2010), las cuales son seleccionadas y aisladas dependiendo el tipo de sustrato en que van a ser ejecutadas. Algunos de estos sustratos pueden ser las aguas residuales que proceden de diversas actividades como suero de queso, procesamiento de frutas, industria farmacéutica, biorrefinerías residuos agrícolas, etc. Un punto importante es que se puede utilizar materiales resistentes a la degradación en las CCMs. (Navarro & Soto, 2000).

Los factores para considerar en el momento de seleccionar un sustrato a utilizar en la CCMs, es el costo. Tomando en cuenta que los sustratos puros tienen un elevado costo monetario en referencia a los sustratos compuestos diferencias de los procesos presentes, por otro lado los sustratos complejos son desechos domésticos o de la industria los cuales son abundantes y con gran disponibilidad, accesibles lo que reduce considerablemente su costo de adquisición, otro de los factores a considerar es la concentración del sustrato ya que esto es una característica para las reacciones enzimáticas que se llevan a cabo en la CCMs. (Li, Sharma, Lei, Li, & Zhou, 2010)

Al poseer un sustrato con una concentración alta la velocidad de reacción se verá incrementada, lo que por consecuencia da una mayor generación de bioelectricidad, aunque no siempre tiene este efecto. Se puede decir que este comportamiento se reduce a dos razones, la primera un incremento en los productos generados por la fermentación los cuales ocasionan una reducción del pH en el hábitat, lo que ocasiona problemas en la actividad de las enzimas; como segundo punto, alguno de los compuesto presentes en el sustrato son materia prima para el crecimiento de bacterias lo cual evita que se genere electricidad.(Li et al., 2010)

1.5.7. Materia Orgánica

La materia orgánica es todo lo que compone la vida en el planeta, está constituida principalmente por Carbono. La materia orgánica es la que forma la superficie de la Tierra en la que se encuentran seres vivos en descomposición (plantas, animales), los cuales son la fuente de nutrientes para el ciclo de la vida.(María Estela Raffino, n.d.)

Tabla 7-1. Tipos de Materia Orgánica

TIPOS	DESCRIPCIÓN
Lípidos	Diversos tipos de grasas, es decir, acumulaciones de carbohidratos que conforman moléculas hidrófobas y densas.
Azucares	Se conoce con este nombre genérico a los hidratos de carbono o sacáridos, o sea, moléculas de carbono, hidrógeno y oxígeno que son las formas biológicas básicas de energía.
Proteína	Cadenas lineales de aminoácidos que forman macromoléculas con propiedades físico-químicas determinadas, de acuerdo a su complejidad.

Fuente: (Raffino, 2019)

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

1.5.8. Microbiología bacteriana

Los microorganismos requieren una fuente de nutrientes para que alcancen su máximo desarrollo, su metabolismo y respiración sean el indicado. Uno de los grandes nutrientes presentes es la materia orgánica en la que, si principal elemento es el carbono, el mismo que se encuentra presente en los sustratos donde las respectivas reacciones químicas y el metabolismo de los microorganismos llegan a generar bioelectricidad.

1.5.8.1. Factores de crecimiento microbiano

Los microorganismos y su ejecución están enlazadas en las condiciones ambientales presentes, donde los nutrientes son fáciles de asimilar en un medio estable (ácido-alkalino), ya sea que el oxígeno se encuentre presente o no, como la humedad, luz, temperatura, pH, su medio de cultivo entre otras para que el medio de crecimiento sea adecuado. (Falcón, Lozano, & Juárez, 2009). Al igual que los minerales básicos como C, N, P y S para la nutrición celular. La concentración de biomasa presente en los sustratos son los responsables del rendimiento de CCMs (Mocali¹ et al., n.d.)

En investigaciones realizadas microorganismos particulares, se las han ideado para habitar las condiciones extremas(temperatura, pH) que presenta el planeta, un ejemplo similar es el pH adecuado para el desarrollo bacteriano es un pH de 7 aunque ciertas especies cuando degradan los sustratos el pH tiende a la acidez (Zhang et al., 2007).

El crecimiento microbiano como se muestra en la gráfica consta de 4 fases:

1. Fase de latencia
2. Fase exponencial
3. Fase estacionaria
4. Fase de muerte

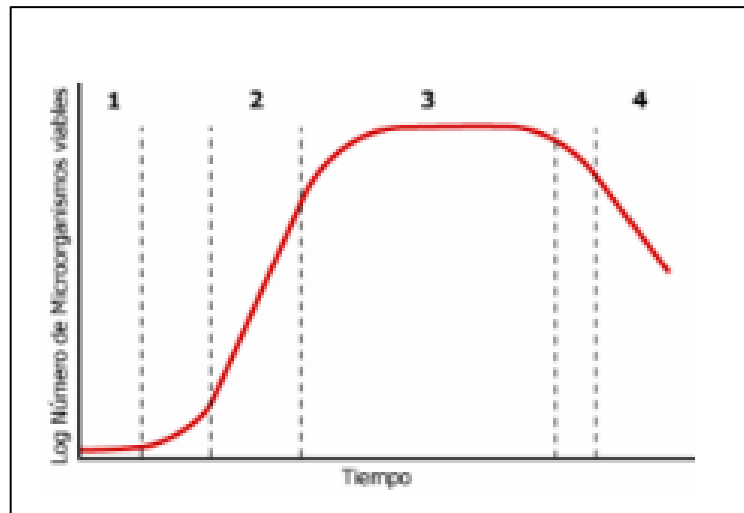


Gráfico 1-1. Curva de crecimiento microbiano

Fuente: (Hylary, 2014)

1.5.8.2. Actividad microbiana

Los microorganismos, en la fase de latencia deberán necesitar de ciertos elementos que activen las células para que la actividad metabólica sea viable. Dicha actividad se lleva a cabo por medio de técnicas que involucran al medio los nutrientes y las condiciones adecuadas para que su crecimiento sea óptimo. En este proyecto se utilizarán sustratos puros ya que son de fácil asimilación hacia los microorganismos que por medio de la metanogénesis producen una fermentación, para dar un producto final de bioelectricidad, esto se lleva a cabo en poco tiempo (Blanco Londoño & Rodríguez Chaparro, 2013).

Durante la producción de bioelectricidad se produce la degradación de materia orgánica, en la cual se encuentran presentes una variedad de sustratos, estas sufren un proceso de metabolismo en la cual se transforman en compuestos complejos y estas aumentan al transcurrir el tiempo del proceso de conversión a bioelectricidad.(Falcón et al., 2009)

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.5. Objetivo General

- Diseño y construcción de una celda de combustión microbiana (CCMs).

2.6. Objetivos Específicos

- Identificar los materiales adecuados para la construcción de la celda de combustión microbiana (CCMs).
- Determinar el tiempo de vida del caldo de cultivo en la producción de bioelectricidad dentro de la celda construida.
- Comprobar la vida útil de los electrodos, dependiendo de los sustratos (glucosa, acetato).
- Cuantificar la producción de bioelectricidad, según los sustratos (glucosa, acetato) a utilizar.
- Validación del equipo con dos tipos de sustratos (glucosa, acetato) para la producción de bioelectricidad.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1. Localización del Proyecto

El diseño, construcción y funcionamiento de la celda de combustión microbiana se efectuará en el laboratorio de modelación y sistemas del Grupo de Energías Alternativas y Ambiente de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ubicada en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba en la Panamericana Sur km 1 ½.

Tabla 1-3. Localización geográfica de la ciudad de Riobamba

ELEMENTO	UBICACIÓN
Continente	América
País	Ecuador
Provincia	Chimborazo
Cantón	Riobamba
Altitud	2822 msnm
Localizaciones coordenadas UTM	17 M 758393.95 m E UTM 9817026.05 m S
Localización Coordenadas geográficas	78°40'39.24" de longitud occidental y a1°39'14.58" de latitud sur.
Clima	Temperatura máxima: 19 °C Temperatura mínima: 9 °C

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019



Figura 2-3. Georreferenciación del Laboratorio de modelación y sistemas del Grupo de Energías Alternativas y Ambiente de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Fuente: Google Maps, 2019

3.2. Ingeniería del Proyecto

Tabla 2-3. Ingeniería del Proyecto

OBJETIVO	DESARROLLO
<p>Identificar los materiales adecuados para la construcción de la celda de combustión microbiana (CCMs)</p>	<p>GRILON</p> <p>Material duro y elástico lo cual le permite tener una alta resistencia mecánica, a la abrasión, también tiene una rigidez, dureza y tenacidad, que lo hacen recomendable para la fabricación de distintas piezas como engranes, tornillos, piezas deslizables, anillos de juntas, etc., la rigidez, tenacidad y el gran poder de amortiguamiento con su alta resistencia mecánica, permiten que la poliamida 6, sea el termoplástico más versátil para la ingeniería.(McKeen, 2013)</p> <p>TELA DE FIBRA DE CARBONO</p> <p>La tela de fibra de carbono es una fibra de origen sintético que está compuesta principalmente por carbono. Cada fibra de carbono es la unión de varios filamentos del mismo</p>

	<p>elemento. Esta fibra se obtiene a partir de poliacrilonitrilo, posee propiedades similares al acero la cual presenta una ligereza como la madera y al tener una alta dureza es más resistente a los impactos que el mismo acero.</p> <p>Uno de sus principales usos es la fabricación material compuestos, siendo este el mayor compuesto en los mismos aproximadamente constituye el 75% de los mismos, estos pueden ser polímeros termoestables, como el vinil éster.(Baeza de los Santos, Vilaplana Abad, Galao Malo, & Garcés Terradillos, 2018)</p> <p>SENSOR</p> <p>Un sensor en la industria es un objeto capaz de variar una propiedad ante magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas con un transductor en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser, por ejemplo: intensidad lumínica, temperatura, distancia, aceleración, inclinación, presión, desplazamiento, fuerza, torsión, humedad, movimiento, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica, etc.(Ahn, Hatzell, Zhang, & Logan, 2014)</p>
<p>Determinar el tiempo de vida del caldo de cultivo en la producción de electricidad dentro de la celda construida.</p>	<p>Para la determinación del tiempo de vida de los sustratos deberemos como punto de partida recolectar información de los sustratos (glucosa y acetato), para poder desempeñar una práctica adecuado y favorable, dentro de la cual hemos identificado las variables que van a regir al proceso las cuales son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura - pH

	<ul style="list-style-type: none"> - Concentración del sustrato - Tiempo
Comprobar la vida útil de los electrodos, dependiendo de los sustratos (glucosa, acetato).	<p>Para identificar el envenenamiento de los electrodos va a depender crucialmente de cada sustrato que se utilice respectivamente ya que las variables por las cuales se identificara el envenenamiento serán:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corrosión del electrodo - Disminución de la generación de la bioelectricidad
Cuantificar la producción de electricidad, según los sustratos (glucosa, acetato) a utilizar	<p>En este punto, la producción de electricidad será regida por el tipo de sustrato ya que la producción de electricidad se basa en la composición del sustrato y en la rapidez que las moléculas complejas se conviertan en moléculas simples. Y la intervención de las bacterias presentes en el sustrato las cuales son las responsables de la generación de bioelectricidad. (Ahn et al., 2014)</p>
Validación del equipo con dos tipos de sustratos (glucosa, acetato) para la producción de electricidad	<p>La validación del equipo se la realizará en el grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA), junto con la colaboración de los tutores del proyecto, y los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química; para lograr dicho objetivo se debe contar con la respectiva técnica de laboratorio, la cual será facilitada por parte de los tesisistas hacia el técnico docente, además de un instructivo en el cual se ponga en claro las partes importantes del equipo y el proceso; a más de esto también será entregado un manual de procedimiento el cual brindara información acerca de temperaturas, potencia, presión y otros factores que ayudaran a culminar de mejor manera el procedimiento.</p> <p>Además, se entregarán los planos del equipo en el programa SOLIDWORKS y por último se grabará un video de principio a fin de toda la practica con lo cual el equipo quedará validado.</p>

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

3.2.1. Tipo de estudio

El diseño u construcción de una celda de combustión microbiana (CCMs), es un proyecto de tipo técnico, el cual se ha desarrollado a través del método deductivo, inductivo al igual que experimental para obtener como resultado una celda de combustión microbiana que aumenta la eficiencia de producción de bioelectricidad.

3.2.2. Métodos

El diseño y construcción de una celda de combustión microbiana (CCMs), fueron empleados los métodos deductivo, inductivo y experimental, por lo cual se pudo obtener datos que fueron necesarios por lo cual se pudo desarrollar el equipo.

- **Método Deductivo**

Al identificar los problemas existentes en la celda de combustión microbiana se logró una dirección en la mejora de superficie de contacto logrando que su producción de bioelectricidad crezca al igual que la eficiencia sea mucho mayor.

- **Método Inductivo**

Este método fue empleado para tener una perspectiva actual de la celda de combustión microbiana, logrando una visión detallada de las debilidades que la celda presenta, principalmente su funcionamiento y como puede mejorar el mismo, se observó que el mayor problema que presenta la CCMs es la superficie de contacto.

- **Método Experimental**

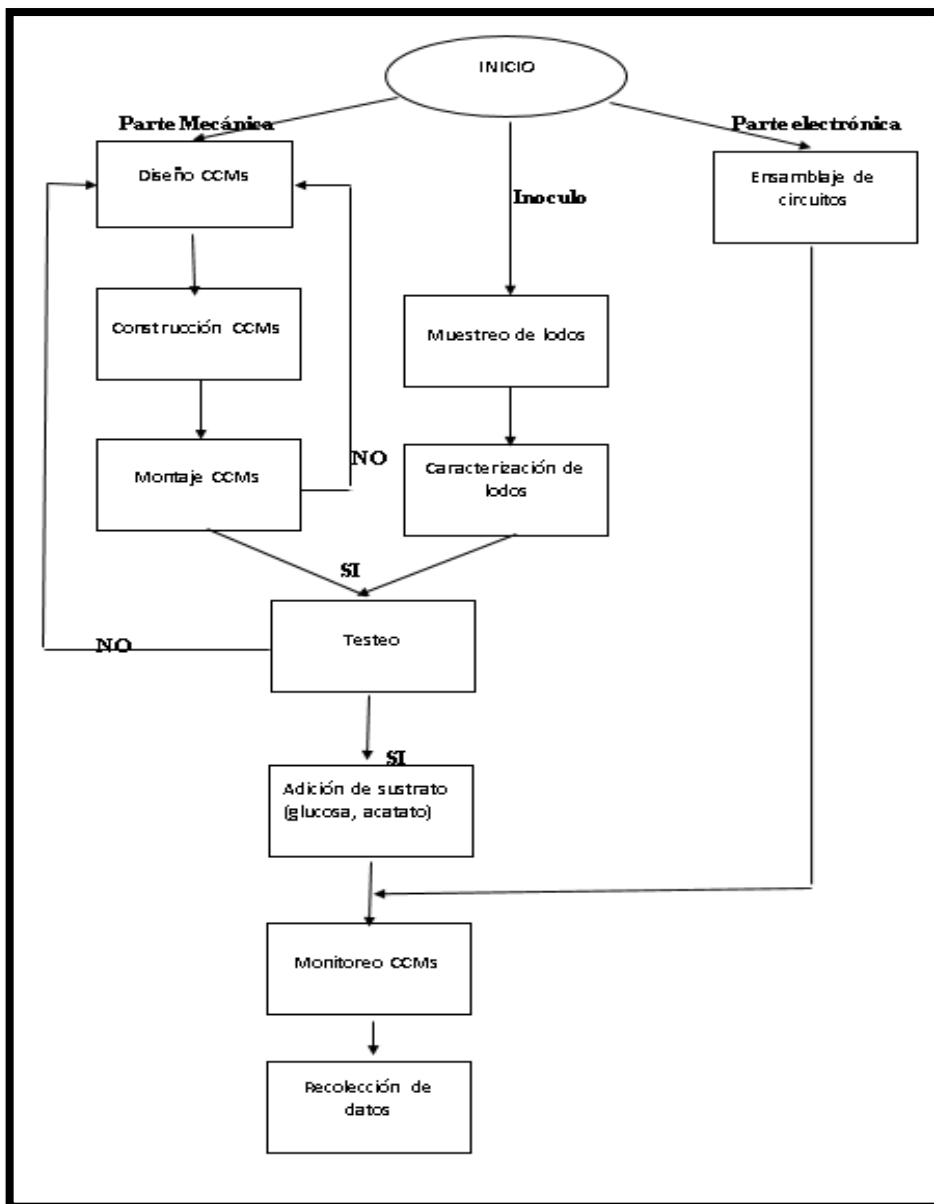
Este método se realizó la mejora de la CCMs mediante la modificación de su diseño para la producción de bioelectricidad en el Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA), de la Facultad de Ciencias.

3.2.3. Marco metodológico

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación la metodología usada es del tipo cuantitativo-descriptivo (teórico-experimental) encaminado a dar cumplimiento a los objetivos planteados, se ha iniciado con el análisis de las condiciones de operación, materiales apropiados e instrumentación para finalmente evaluar el rendimiento de la celda y su eficiencia en la producción de bioelectricidad.

3.2.3.1. Diagrama de flujo del proyecto

Las actividades realizadas fueron:



Realizado por: Buñay, P; Sanunga, L

3.2.4. Diseño y Construcción

3.2.4.1. Diseño

En la actualidad existe un sinnúmero de diseños escalables para la construcción de una CCMs. En la mayoría de los estudios, la configuración comúnmente adoptada fue la tradicional doble cámara (en forma de H), en la que dos vasos (cámaras o compartimentos) están conectadas por medio de un tubo que contiene una membrana. Muchas de las modificaciones de los modelos existentes se han llevado a cabo recientemente para aumentar las densidades de potencia, y para mantener una producción de corriente constante.

Es por eso que se ha diseñado y estructurado celdas en forma cilíndrica conformada de una cámara anódica separadas por una membrana de intercambio protónico con cátodo al aire libre para facilitar una mayor superficie de contacto.

El diseño de la celda de combustión microbiana se realizó mediante CAD programación computarizada misma que permiten obtener una modelación real del equipo y planos que se fueron dimensionados, se utilizó el software “SOLIDWORKS 2019”.

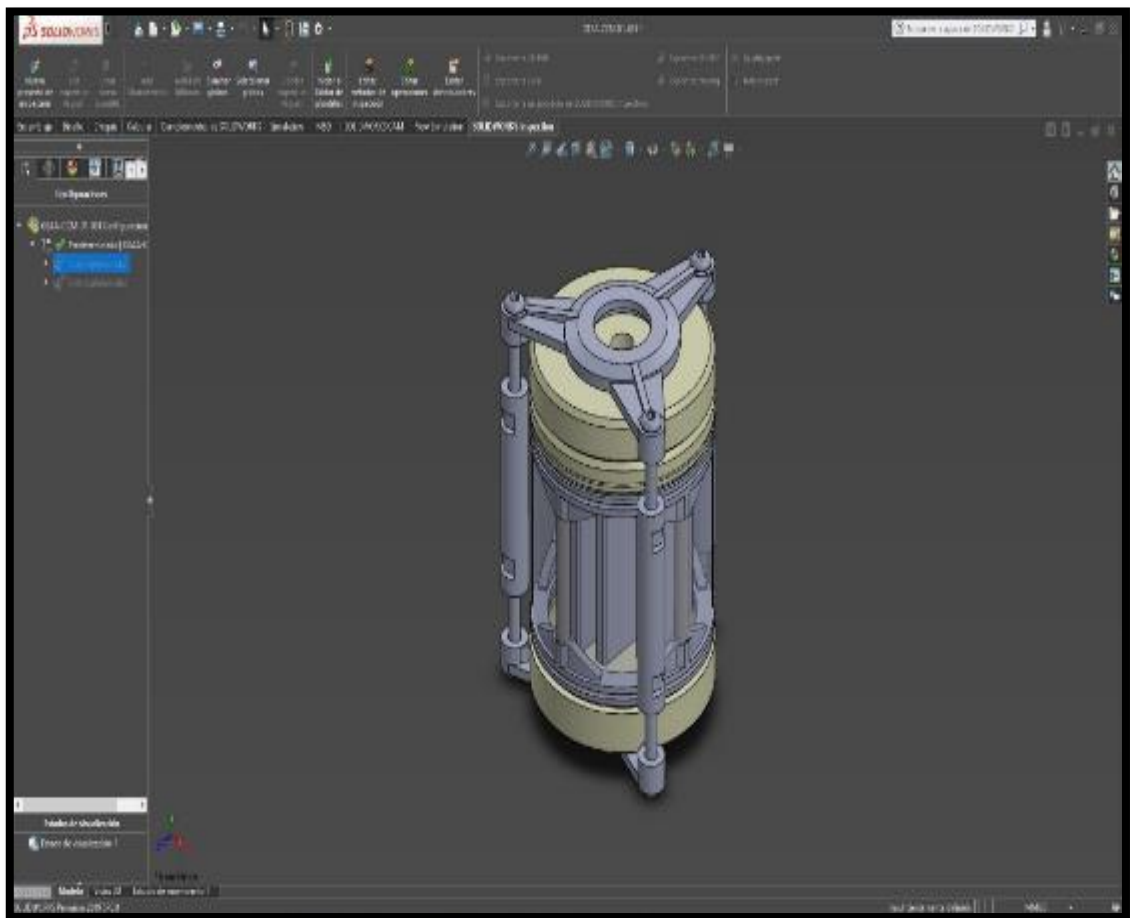


Figura 3-3. Dimensionamiento de la cara externa de celda de combustión microbiana en software “SOLIDWORKS 2019”

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

3.2.4.2. Construcción

La celda de combustión microbiana CCMs está formada por una cámara anódica anaeróbica separadas por una membrana de intercambio protónico, y un cátodo al aire. La cámara anaeróbica contiene sustratos (glucosa y acetato) que, al oxidarse por acción de los bacterias electroactivas (anodófilos) que residen en el ánodo del dispositivo en forma de un biofilm, Los anodófilos oxidan las moléculas orgánicas presentes en la solución de alimentación liberando electrones, protones, H_2O y CO_2 , una vez los electrones se liberan en la cámara anódica, éstos son captados por el ánodo y posteriormente transferidos hacia el cátodo mediante un circuito externo. Simultáneamente, en la cámara anódica se generan protones que migran a través de la membrana de intercambio protónico hacia el cátodo, este reacciona con electrones y un aceptor de electrones (generalmente oxígeno) forman agua y generan bioelectricidad.



Figura 4-3. Construcción de la celda microbiana

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

- *Construcción de la cámara anódica*

En el desarrollo del mecanizado de la cámara anódica el material que fue destinado fue Grilón, en el interior del compartimento anódico se encuentra ensamblado el ánodo, el inoculo(biomasa) y los microorganismos presentes permiten la conversión de los sustratos y la degradación de la materia orgánica en bioelectricidad, esta cámara debe estar sellada herméticamente para evitar la inhibición en la generación de bioelectricidad, debido a que el oxígeno actuaría como receptor final de los electrones en la respiración microbiana.



Figura 5-3. Construcción de la cámara anódica

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Tabla 3-3. Construcción de la cámara anódica

MATERIALES Y EQUIPOS	PROCEDIMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> - 7 Grilón 7 cm - Torno - Cierra de cinta para metal - Fresadora - Cierra eléctrica fija - 2 metros de Varilla de Acero Inoxidable de 6mm de diámetro - Impresora 3D Anet a8 	<ul style="list-style-type: none"> - Seccionar el Grilón con la cierra de cinta para metal (tapa, anillo superior y base) - Mecanizar la base, anillo superior y la tapa con ayuda del torno de acuerdo especificaciones del diseño anteriormente mencionado. - Realizar un agujero de 1cm la tapa del cilindro con la fresadora. - Cortar 4 segmentos de varilla de acero inoxidable con una longitud de 6 cm. - Imprimir en 3D (tensores, bridas y base membrana).

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

- *Construcción del cátodo (catado al aire libre)*

Los electrodos son parte principal de una CCMs, para la formación del cátodo se utilizó tela de fibra de carbono apto para este tipo de aplicaciones, la tela fibra de carbono se encuentra en contacto directo con el aire siendo este su fuente de oxígeno. El cátodo se encuentra adherido a la membrana de intercambio protónico (Parafilm) en la celda de combustible de cámara única,

el cual nos permite reducirlos costos de funcionamiento debido al contacto directo con el aire mejorando el suministro de oxígeno proporcionado al cátodo.



Figura 6-3. Tela de fibra de carbono
Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Tabla 4-3. Construcción del cátodo

MATERIALES Y EQUIPOS	PROCEDIMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> - Tela de fibra de carbono - Tijeras - Cinta masking - Epoxi Clear - Cinta adhesiva - Regla - Rapidógrafo - Alambre de níquel-titanio 	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionar la tela fibra de carbono (20x7.5 cm) - Colocar cinta masking en la sección dimensionada para evitar desglose de la tela de fibra de carbono. - Cortar el área seleccionada de la fibra de carbono. - Colocar epoxi clear en la parte del corte - Dejar secar epoxi clear. - Colocar de forma intercala el alambre de níquel-titanio, tela de fibra de carbono en el centro de la base de la CCMs, y pegar con el epoxi clear. - Colocar la cinta adhesiva en los extremos opuestos de la base de carbono

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

- *Construcción del ánodo*

Para su elaboración se utilizó una malla de acero inoxidable, la razón de por qué se eligió este material tiene: mayor área de superficie, anticorrosivo y una mayor conductividad. En esta parte debe existir crecimiento de microorganismos mismos que empiezan a metabolizar la materia

orgánica, eventualmente adherirse a la malla de acero inoxidable formando una biopelícula, aumentando el desempeño del ánodo mejorando la generación de bioelectricidad, ayudando a la oxidación directa de metabolitos microbianos. La transferencia de electrones desde el biofilm a la superficie del ánodo ocurre por contacto directo.



Figura 7-3. Construcción del ánodo

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Tabla 58-3. Construcción del ánodo

MATERIALES Y EQUIPOS	PROCEDIMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> - Malla de acero inoxidable - Tijeras industriales - Regla - Rapidógrafo - Alambre de níquel-titanio 	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionar la malla de acero inoxidable (15x7 cm) - Cortar el área malla seleccionada. - Colocar el alambre de níquel-titanio en la malla de acero inoxidable.

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

- Construcción de la membrana de intercambio protónico

Se usó parafilm como membrana de intercambio protónico (PEM), la cual permite una mayor flexibilidad, baja permeabilidad evitando la fuga de fluido y alta resistencia, siendo este idóneo para el intercambio protónico desde la cámara anódica hacia el cátodo. El desempeño de la

PEM depende del tipo de microorganismos utilizados, tipo y concentración, la biomasa utilizada como combustible, la fuerza iónica, el pH, la temperatura y la configuración de la celda.



Figura 8-3. Construcción de la membrana de intercambio protónico

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Tabla 69-3. Construcción de la membrana de intercambio protónico

MATERIALES Y EQUIPOS	PROCEDIMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> - 10 metros de Parafilm - Una Tijeras - Una Regla - Un Rapidógrafo 	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionar el parafilm (20x7.5 cm) - Cortar el parafilm.

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

3.2.3.3. Montaje de la celda de combustión microbiana (CCMs)

Una vez realizado la construcción de todos los componentes que contiene las 7 celdas de combustión microbiana, inicia el ensamblaje de cada pieza que contiene las celdas, se realizaron pruebas de ensayo para evitar posibles fugas por lo que se llenó el equipo con agua destilada y

se realizaron los ajustes necesarios para garantizar que no se filtrará el contenido de la celda hacia el exterior. Se reforzó con silicona anti fúngicas para que no afecte a las condiciones de los microorganismos en el interior. Una vez realizadas las pruebas respectivas de ensayo se procedió al ensamblaje de la celda.



Figura 9-3. Montaje de la celda de combustión microbiana (CCMs)

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Tabla 7-3. Construcción de la membrana de intercambio protónico

MATERIALES Y EQUIPOS	PROCEDIMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> - Membrana de intercambio protónico (PEM) - Cámara Anódica - Cátodo (tela de fibra de carbono) - 7 tapones de hule - 1 cinta doble faz - 42 tornillos de cabeza avellanada y 21 tuercas - 21 tuercas de seguridad - 16 Oslin (Empaques circulares de 	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar las barras de acero inoxidable de 6 cm, en las bases superior e inferior formando una cámara cilíndrica - Una vez formada la cámara colocar la membrana de intercambio protónico - Para evitar fugas de la solución del sustrato asegurar con empaques circulares de hule en una guía del interior de la base membrana. - En la base de Grilon situar la cámara anódica y en los bordes colocar silicona líquida para

<p>hule)</p>	<p>evitar su movimiento, en la parte superior colocar el anillo de seguridad.</p> <ul style="list-style-type: none"> - En las tapas de las cámaras anódicas colocar los tapones de hule, traspasar por la parte inferior de la misma el alambre de níquel-titanio para conectar del ánodo. - Colocar las tapas en las cámaras anódicas, ubicar los protectores en la parte superior e inferior de las CCMs y ubicar tapones de hule en los orificios de la tapa. - En la celda combustión microbiana acomodar el cátodo en toda la superficie externa de la celda. - Introducir las tuercas de acero inoxidable en los protectores, acomodar los tornillos en los tensores y ajustarlos a presión.
--------------	--

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

3.2.3.4. Testeo del equipo

Es importante después del montaje de la celda revisar y probar que todo lo ensamblado funcione a la perfección para evitar complicaciones posteriores, además verificar y cuantificar si la celda genera bioelectricidad durante las horas monitoreadas mediante el uso del voltímetro.

Tabla 8-3. Testeo del equipo

MATERIALES Y EQUIPOS	PROCEDIMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> - Celda de combustión microbiana. - Lodos residuales - Voltímetro. - Cronometro - Libreta de apuntes - Rapidógrafo 	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar los lodos residuales en el interior de la cámara anódica. - Dejar en reposo 30 minutos. - Sellar la cámara y monitorear

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Tabla 9-3. Cronograma del testeo del equipo

Número de celda	Número de horas del testeo en 2 días							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	x	x	x	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x	x	x	x
4	x	x	x	x	x	x	x	x
5	x	x	x	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x	x	x	x

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

3.2.3.5. Muestreo y caracterización de lodos

La selección de la muestra se realizó en base a la norma colombiana Gestión Ambiental, Calidad del Agua. Muestreo parte 13: Guía para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamiento de aguas, el cual se observa en el Anexo



Figura 10-3. Muestreo de lodos

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Tabla 10-3. Método de muestreo

TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	UNIDAD DE ANÁLISIS	POBLACIÓN DE ESTUDIO	TAMAÑO DE LA MUESTRA
Muestreo de cuarteo	Lodos residuales de la Planta de tratamiento de agua residual del cantón Colta, parroquia Villa la Unión.	PTAR Colta.	4 lechos de secado

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

- Selección de la muestra

El muestreo, manejo y conservación de muestras de los lodos residuales se realizó bajo los criterios técnicos establecidos en la Norma Oficial Mexicana, Protección Ambiental. - especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

La selección de la muestra debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Plan de muestreo
2. Ejecución del muestreo
3. Conservación, transporte y almacenamiento

- *Sitio de experimentación*

El cantón Colta está situado a 3.212 msnm. Villa La Unión es considerada una de las ciudades más altas del país. La temperatura media es de 12 °C. Su proximidad a la ciudad de Riobamba, está a solo 18 km, constituye uno de los 10 cantones de la provincia de Chimborazo. Con una superficie de 829 km², se halla dividida en 6 parroquias dos urbanas Cajabamba, Sicalpa Viejo y cuatro rurales Santiago de Quito, Cañí, Columbe y Juan de Velasco (Pangor).

Tabla 11-3. Método del cuarteo

MATERIALES Y EQUIPOS	PROCEDIMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> - Una pala. - Cuatro lonas - Termómetro - 4 fundas ziploc de 1 Kg. - pH-METRO PORTATIL HACH 	<ul style="list-style-type: none"> - Tomar 4 bolsas de lana de 50 cm x 30 cm - Seleccionar al azar el mismo número de lechos de secado. - Posteriormente llenar cada una de las bolsas con el material de cada sitio - Trasladar a un área plana horizontal de aproximadamente 4 m x 4 m, preferentemente de

<ul style="list-style-type: none"> - Un Rapidógrafo. - Botas con punta de acero. - Gorra. - Cámara fotográfica. - Libreta para apuntes. - Guantes desechables. 	<ul style="list-style-type: none"> - cemento bajo techo deposita su contenido. - Traspalear el material para obtener una mezcla homogénea. A continuación, dividir en cuatro partes aproximadamente iguales A, B, C y D y eliminar las partes opuestas A y C o B y D. - Repetir esta operación hasta dejar 4kg aproximadamente de lodo residual. - Colocar 5kg de biosólido en los para determinar en el laboratorio el contenido de: pH, temperatura, conductividad, humedad, DQO y DBO. - Trasladar la muestra al laboratorio en fundas ziploc debidamente selladas e identificadas. - Evitar que queden expuestas al sol durante su transporte, además tener cuidado en el manejo de la bolsa que contiene la muestra para que no sufra ninguna ruptura. - El tiempo máximo de transporte de la muestra al laboratorio, no debe exceder de 8 horas.
--	---

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

- *Caracterización de lodos*

La caracterización físico-química de los lodos provenientes de la planta de tratamiento de agua residual del cantón Colta parroquia Villa la Unión se llevó a cabo en el laboratorio de Calidad de aguas y lodos del mismo GAD- Colta.

Los parámetros para el análisis físico químico de lodos son las siguientes:

Tabla 12-3. Análisis físico químico de lodos

Parámetro	Método
Temperatura	pH-metro
pH	Potenciométrico
Conductividad	Potenciométrico/EPA 904 D
Humedad	Gravimétrico

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Tabla 13-3. Determinación de pH de lodos

MATERIALES Y EQUIPOS	PROCEDIMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> - Balanza de 0.1 g de precisión - Potenciómetro - Toalla de papel - Frasco lavador - Dispensador de volumen variable de 10 ml de capacidad - Beaker de 10 ml (4) - Agitador o varillas de vidrio o de plástico. - Pinza - Agua destilada - Muestra problema (lodo) - Solución buffer pH 7.00 y 4.00. 	<ul style="list-style-type: none"> - Marcar la muestra - Ajustar la balanza a las condiciones normales de operación - Pesar 10 gr de muestra previamente secada y tamizada por 2 mm, ponerlos en un vaso de vidrio de 100 ml o 50 ml. - Verter 10 ml de agua destilada y agitar con varilla de vidrio hasta formar una suspensión homogénea, aproximadamente durante un minuto. - Si se forma la suspensión continuar con el procedimiento. Si no se forma la suspensión agregar agua hasta que todo quede homogenizado, anotar el volumen añadido - Dejar la muestra en reposo durante 30 minutos, encender el pH metro, calibrar el pH metro con una porción de 10 ml de las soluciones tampón pH 7.00 y pH 4.00. (Estas porciones deben ser cambiadas periódicamente, como mínimo una vez al mes). - Homogenizar la muestra antes de la lectura, lavar y secar con toalla de papel, el electrodo antes de cada muestra, medir el pH de la muestra de la siguiente manera: agitar vigorosamente con el recipiente de vidrio. - Leer el pH hasta que la lectura sea estable por lo menos durante 15 segundos - Reportar los resultados con dos cifras decimales, e indicar la relación suelo: agua de la suspensión o si se utilizó otra solución diferente a agua destilada - Lavar el electrodo con ayuda del frasco lavador, empleando abundante agua hasta retirar todos los rastros de lodo (secar con cuidado).

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

La temperatura y conductividad se midieron en un equipo HACH multiparámetros del año 2012, para la determinación de la conductividad se realizó el mismo procedimiento de la determinación del pH.

Tabla 14-3. Determinación de humedad de lodos

Las muestras deben mantenerse refrigeradas a 4°C hasta el análisis.

MATERIALES Y EQUIPOS	PROCEDIMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> - Balanza de 0.1 g de precisión - Horno de calentamiento termostato - 1 espátula metálica acanalada - Capsula metálica con tapa de ajuste hermética de 15 a 20 g de capacidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Ajustar la balanza a las condiciones normales de operación - Corroborar el número de identificación de cada capsula con su respectiva tapa; pesar el código de identificación de la muestra. - Secar las capsulas durante 30 minutos a 105°C para retirar la humedad, llevar al desecador durante 15 minutos. - Poner en la capsula 10 g de lodo para muestra mineral ,5 g para muestra alta en materia orgánica, previamente seco al aire y tamizado por 0,41 mm; Llevar muestra control del proceso analítico. - Secar durante 48 horas a 60°C en el horno o la estufa de calentamiento, sin tapar completamente las capsulas para asegurar la completa eliminación de la humedad y obtener un peso constante. Si el equipo se apaga durante el proceso, iniciar nuevamente la etapa de secado. - Dejar enfriar las capsulas dentro del horno o la estufa durante 2 h; taparla herméticamente, retirarlas del horno y pesarlas de inmediato - Ajustar la balanza a las condiciones normales de operación - Pesar la capsula con la muestra y anotar el dato con dos decimales en la hoja de registro - Disponer adecuadamente de los residuos generados - Realizar cálculos

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

3.2.3.6. Ensamblaje de circuitos

Están enfocados al transporte, gestión y codificación de información, en forma de una señal de voltaje nos permite obtener una mejor lectura de los datos.

Tabla 15-3. Ensamblaje de circuitos

MATERIALES Y EQUIPOS	PROCEDIMIENTO
<ul style="list-style-type: none">- 1 Protobort- 200cm de cable UTP- Una DAQ- Software LabView- 14 lagartos- 7 celdas de combustión microbiana- Computadora- Cautín	<ul style="list-style-type: none">- Retirar la cubierta de los extremos de cada cable UTP- Soldar los lagartos en uno de los extremos del cable UTP (positivo negro y negativo rojo).- Introducir el extremo de los cables en la caja NC pin de entrada de la DAQ.- Ensamblar el lagarto rojo con la conexión del ánodo y el negro con el cátodo.- Conectar la DAQ con la caja NC pin.- Conectar al computador y rodar el programa LabView.- Resultados.

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

3.2.3.7. Monitoreo de la celda combustible microbiana CCMs.

Proceso sistemático para recolectar, analizar y utilizar información para el seguimiento del progreso de la producción, cuantificación de bioelectricidad en la verificación de los objetivos planteados.



Figura 11-3. Ilustración del monitoreo de un programa

Tabla 16-3. Condiciones de operación de las CCMs.

Celda	Sustrato	Volumen en la cámara anódica	Electrodo o ánodo	Electrodo cátodo	Membrana de intercambio protónico	Condición	Voltaje inicial mV
1	Caldo de acetato	250 g de lodos residuales	Malla de acero inoxidable	Tela de fibra de carbono	Parafilm	anaerobias	250
2							210
3							200
4	Blanco						150
5	Caldo de glucosa						155
6							180
7							220

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Se trabajó con siete celdas de cámara única en constante monitoreo con el software Labview, para unir las celdas se utilizó membrana de intercambio protónico, se dejó por un lapso de 15 días. La siguiente tabla muestra las condiciones de operación de las CCMs.

La evaluación se realiza mediante la apreciación sistemática de las reacciones que se realizan en la cámara anódica proporcionando información basada en evidencias creíbles, fidedignas y útiles.

- *Recolección y procesamiento de Datos*

Se utilizó como instrumento de recolección de datos una guía de observación, en la cual se registraron todos los datos experimentales obtenidos, para las variables respuesta como el

voltaje a circuito abierto, los voltajes a determinadas resistencias (curva de polarización) y la intensidad de corriente, durante 15 días para cada CCMs.

Nombre	Fecha de modifica.
conexiones	07/11/2019 15:18
datos.txt	13/11/2019 17:07
datos.vi	08/11/2019 16:31

Figura 12-3. Guía de datos

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

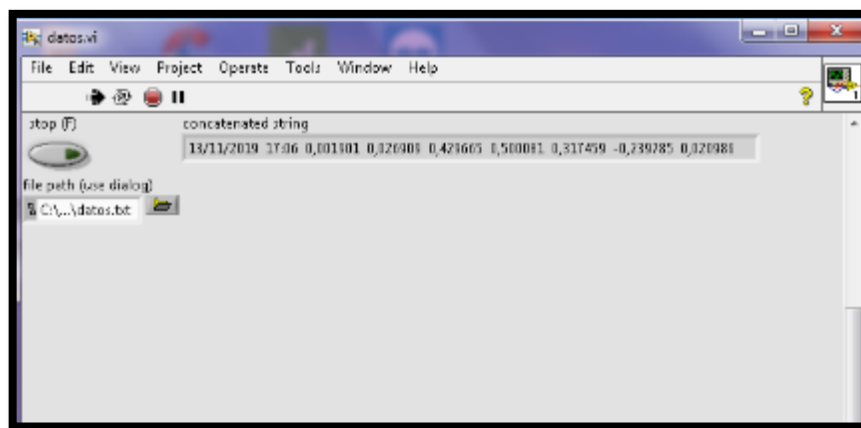


Figura 13-3. Guía de datos

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

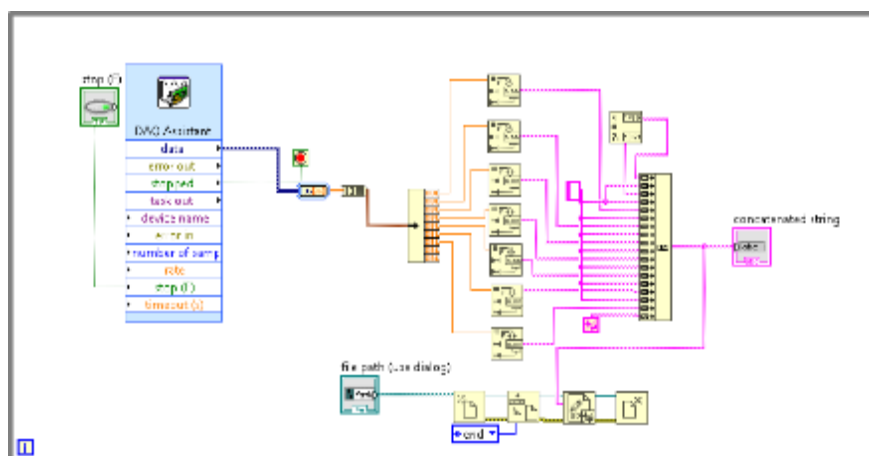


Figura 14-3. Guía de datos

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

CAPITULO IV

4. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El presente proyecto se enfoca en verificar los fenómenos electroquímicos que se manifiestan en el proceso de operación de las celdas diseñadas y ensambladas los datos recogidos por la DAQ cada segundo fue registrados y analizados mediante la herramienta informática de Excel, se obtuvo el promedio de los 3600 datos registrados cada hora por los 15 días monitoreados luego se adquirió los promedios diarios para generar las curvas de crecimiento de cada CCMs.

4.2. Diseño

Se realizó la modulación de tres planos en escala 1:5, el primer plano detalla los componentes o partes específicas ensambladas para formar la CCMs se observa una modulación real en 3D constituido por 14 piezas (base de celda, tapa, anillo superior y los protectores, tensores, tuercas, pernos de seguridad. Ánodo, cátodo, membrana de intercambio protónico, base membrana, tapa y varillas de acero inoxidable), el segundo plano representa los componentes en 2D detallando cada parte de la celda microbiana, diámetros, espesor y longitud dimensionado en mm, el tercer boceto puntualiza la CCMs ensamblada con los tensores, seguridades y tuercas además de un corte transversal de cada una de las piezas montadas, los planos se encuentran estandarizadas en base a la programación SOLIDWORK.

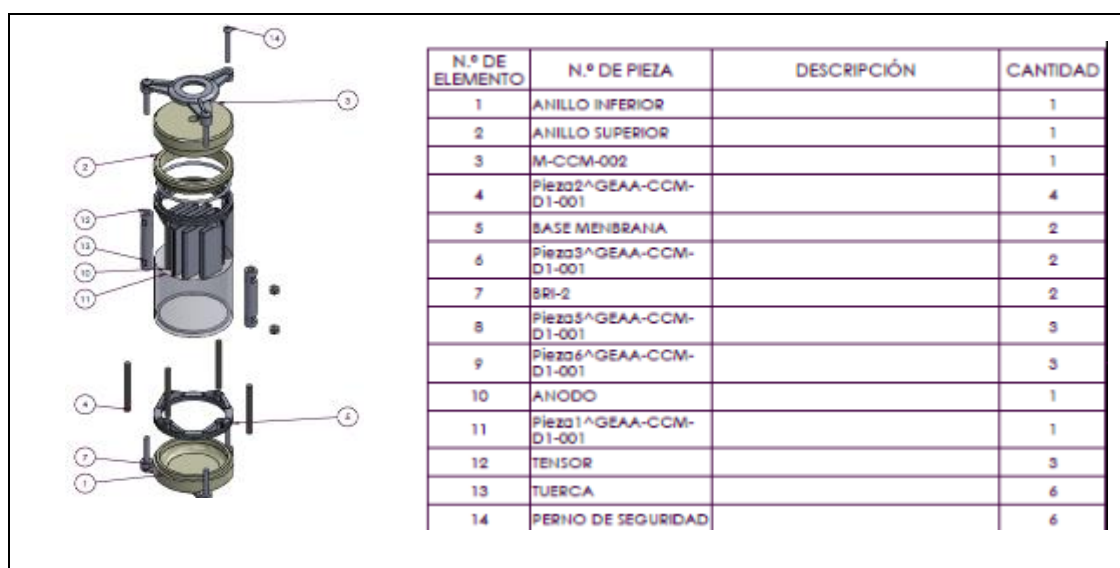


Figura 15-4. Diseño de la CCMs

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

4.3. Dimensionado de la cámara anódica

Se llama cámara anódica al compartimiento en la que está situado el ánodo y donde se coloca el sustrato orgánico y los microorganismos que se van a alimentar de ella, permitiendo que los microorganismos presentes oxiden los sustratos generando electrones y protones. El metabolismo bacteriano está determinado por la influencia del sustrato y el potencial del ánodo.

Como punto inicial se dimensiono las partes que forman la cámara anódica tomando en cuenta que la escala utilizada determina que los bocetos están a mitad de la longitud real. Se estructuran A continuación, se observa el diseño de las partes que conforman la cámara anódica tapa, base membrana y la base de misma.

Se utiliza Grilón para su fabricación porque es un material resiste a temperaturas altas indispensable durante la esterilización. Las dimensiones realizadas están basadas y referenciadas en estudios anteriores realizadas por el Grupo de Investigación de Energías Renovables año 2019 y tomando en cuenta los criterios expuestos por Bruce Ernest Logan ingeniero civil y ambiental estadounidense que se desempeña como profesor de ingeniería ambiental de Kappe y profesor de ingeniería de la Universidad Evan Pugh en la Universidad Estatal de Pensilvania quien posee estudios sobre CCMs.

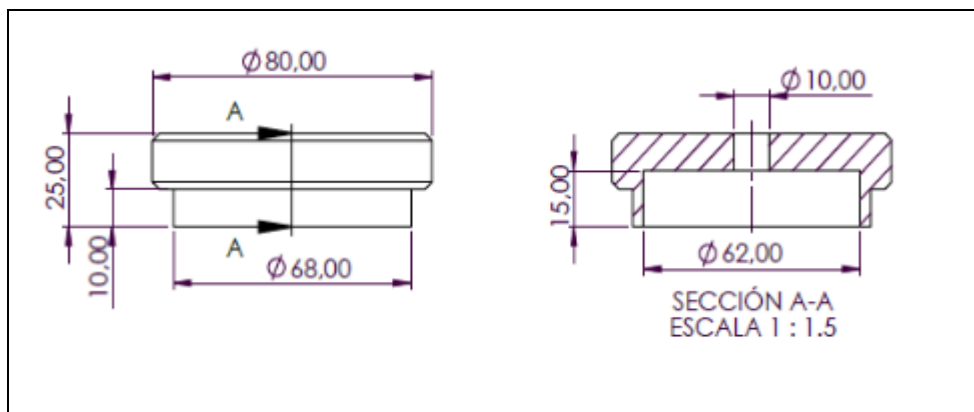


Figura 16-4. Dimensionamiento de la cámara anódica

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

4.3.3. Tapa en forma de T

La cabeza de la tapa tiene un diámetro de 80mm y una altura 15mm, el diámetro externo del cuerpo es de 68mm y su altura es de 10mm con un espesor de 6mm. La sección A-A corte transversal consta de un orificio de 10mm.esta sección se ensambla en el anillo superior de la cámara anódica.

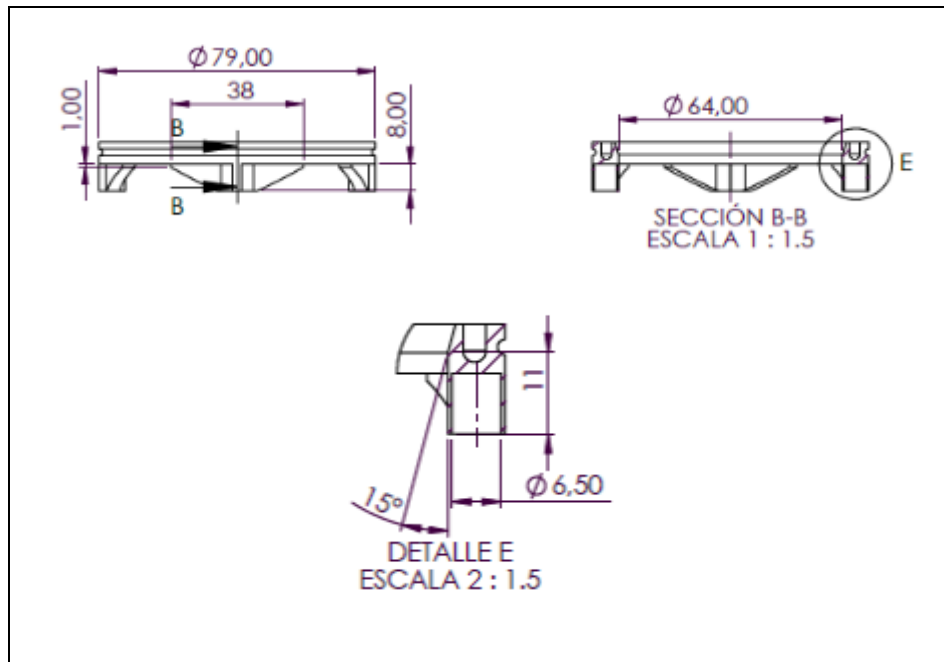


Figura 17-4. Tapa en forma de T

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

4.3.4. Base membrana

La misma que está compuesta por un 80% de fibra de carbono y 20% de PLA. IMPRESA EN UNA IMPRESORA 3D ANET 8, la superficie interna de la base posee un diámetro de 79mm, en la misma se aprecian cuatro detalles con una anchura de 8mm, la distancia entre detalle es de 38mm y la distancia entre detalle y anillo superior es de 1mm

La sección B-B representa un corte central entre detalles y el diámetro longitudinal entre cada uno de ellos siendo su diámetro de 64mm, en la tercera figura se dimensiona el orificio donde se coloca las barrillas de acero inoxidable cuyo diámetro y altura es de 6,5mm y su ángulo de inclinación es de 15°.

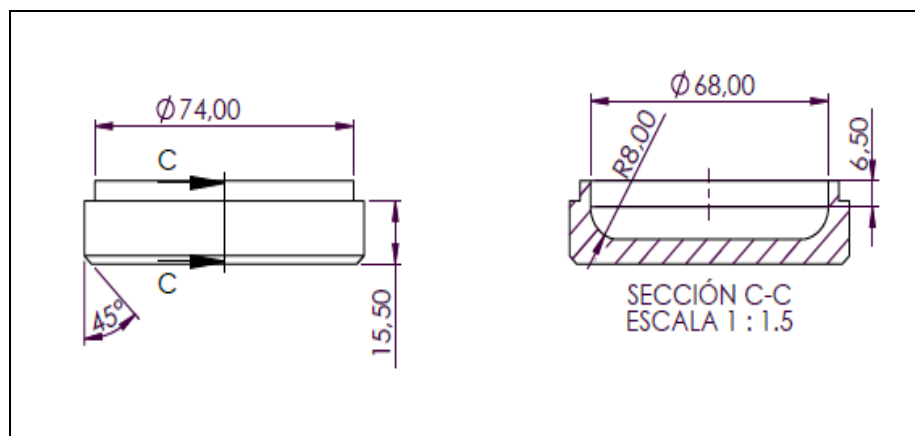


Figura 18-4. Base de la membrana

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

4.3.5. Base de la celda

Posee un espesor de 15,50mm brindando una mayor estabilidad a la celda el desbastado de la base posee un diámetro externo de 74mm y su ángulo de inclinación es de 45°, la sección C-C representa el corte transversal de la base se puede apreciar la profundidad de la misma con un diámetro interno de 68mm y una altura del devastado de 6,5mm y una inclinación de achaflanado de 8mm.

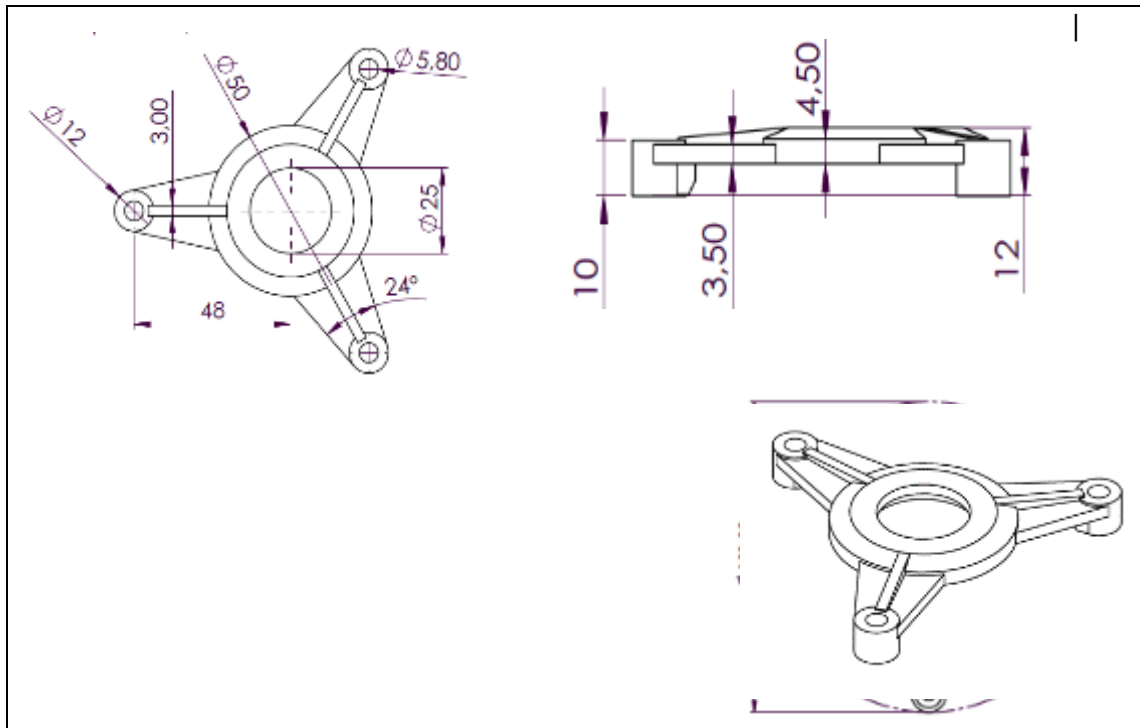


Figura 19-4. Base de la celda

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

4.3.6. Protectores

Una vez realizados los cálculos se dimensiono las partes principales de los protectores, poseen tres salientes pronunciadas en cada una se realizó un orificio que posee una superficie de 5,80mm y un ángulo de inclinación de 24 cada uno de ellos se encuentran conectado por un detalle que posee un grosos de 3mm, la distancia medida desde el centro del protector hasta las salientes es de 48mm y el diámetro del orificio central del protector es de 25mm.

El segundo boceto representa la parte lateral de los protectores en ella se observa la anchura donde se colocan las tuercas o tornillos cuya medida es de 12mm, el espesor de las salientes es de 3,50mm y la amplitud del orificio central del protector es de 4,50mm, en la última figura se

aprecia el modelo en tres dimensiones de los protectores además del diámetro que se obtiene al ser ensamblado con la tapa de la celda.

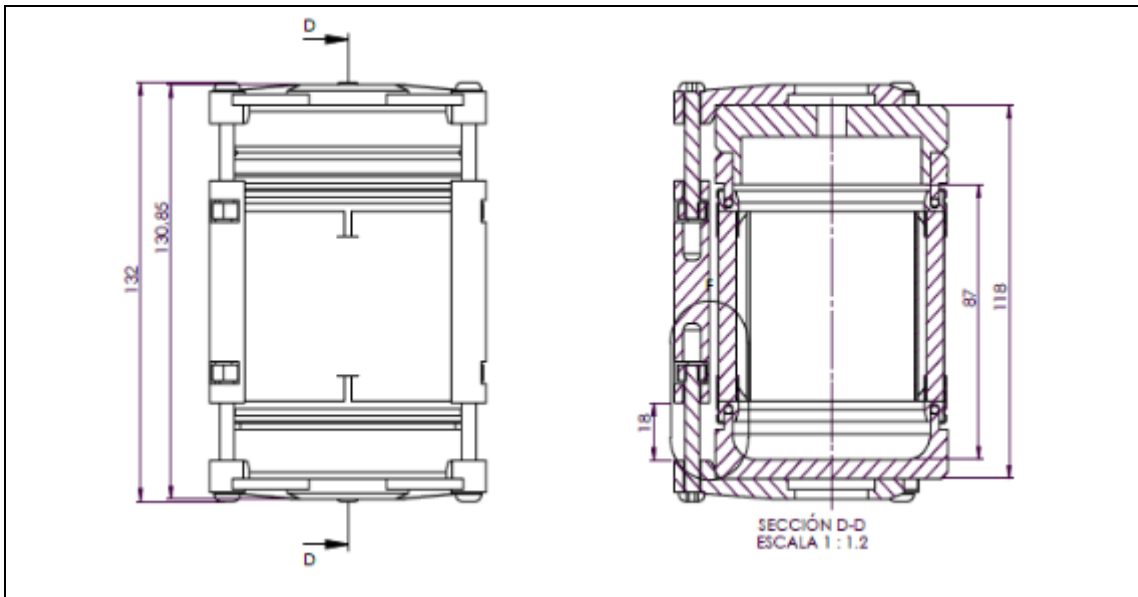


Figura 20-4. Protectores

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

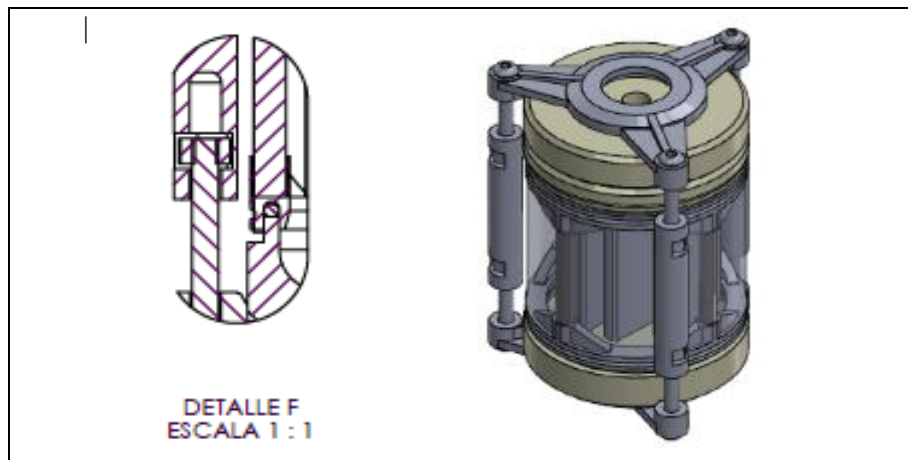


Figura 21-4. Tensores

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

La celda de combustión microbiana y sus dimensionamientos se realizaron bajo los criterios establecidos por el GEEA por los estudios realizados desde el año 2011 hasta el 2019, tomando en cuenta como el parámetro de mayor importancia volumen en celdas cubicas, posee una altura total de 132.mm más en montaje de tornillos , sin ellos su altura es de 130,85.mm consta de 3 tensores separados a 120° , en la sección de D-D se puede apreciar la altura interna de la celda cuya medida es 87mm los extremos la altura sin los protectores es de 118mm,CCMs consta de 3 detalles que se colocan en las paredes externas de las celdas cada una de ellas mide 60mm,

“DETALLE F”, a escala real se puede observar cómo se coloca los tornillos de seguridad al tensor como resultado final se obtiene la celda completamente terminada dimensionada y ensamblada lista para su calibración y operación.

4.3.7. Dimensionado Del Ánodo

Malla resistente a la corrosión, llamado también "ferrítico", poseen una estructura metalográfica formada básicamente por ferrita, poseen un elevado porcentaje de carbono, son inoxidables "martensíticos", por tener martensita en su estructura metalográfica.

Tabla 10-4. Dimensionado del ánodo

Conductividad (uc)	$9,93 \cdot 10^6 \text{ S/m}$
Área Total (mm)	9000 mm
Área Específica (mm)	9000 mm
Altura	65 mm
Largo	150 mm
Espesor	1 mm

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

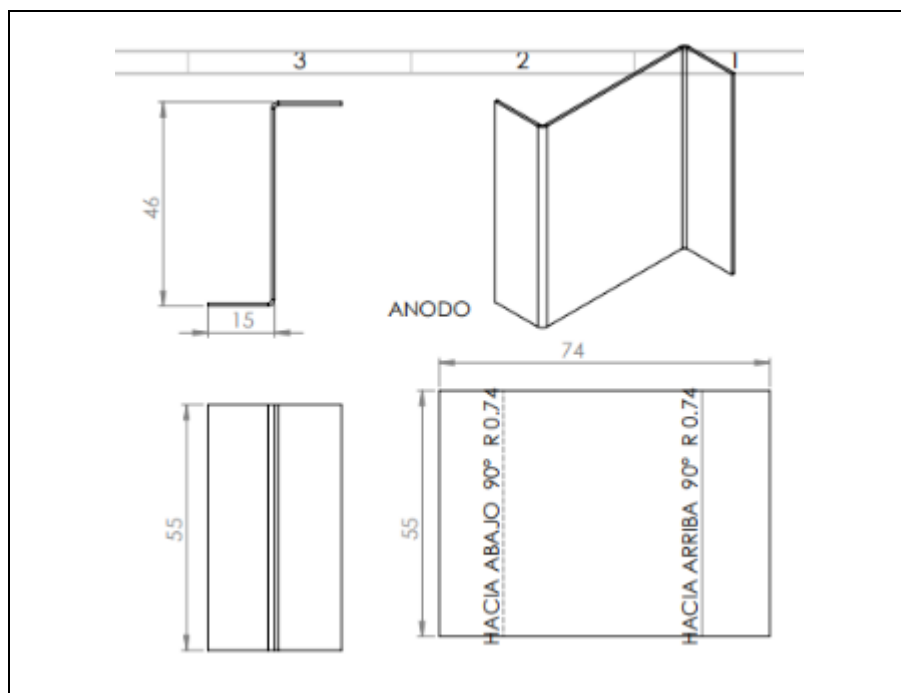
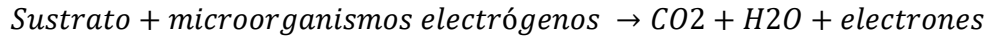


Figura 22-4. Dimensionado del Ánodo

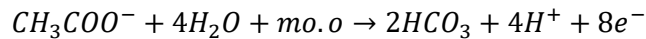
Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

En esta parte se realiza la formación de la biopelícula por acción de microorganismos que conservan la energía permitiendo el crecimiento por la oxidación de compuestos orgánicos a dióxido de carbono y con la transferencia directa de electrones a los ánodos de las CCMs.

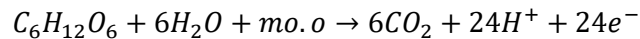
Ecuación 1-4. Reacción general



Ecuación 2-4. Semirreacción del sustrato (acetato de sodio)



Ecuación 3-4. Semirreacción del sustrato (glucosa)



4.3.8. *Dimensionado Del Cátodo*

Compuesto más ligero que el acero, con igual resistencia, inmune a la corrosión, que puede adoptar diversas formas y adaptarse a las distintas necesidades, para nuestro proyecto de utilización de tela de fibra de carbono de 200 SMA el cual posee alta conductividad térmica propiedad más importante en celdas de cámara única, el área total del cátodo es 15400mm² y su área específica estimada es de 1080mm² en esta área se realiza el intercambio protónico entre la membrana y el cátodo.

Tabla 11-4. Dimensionamiento del cátodo

Contenido en carbono (%)	95
Área total	15400mm ²
Área específica	1080mm ²
Densidad (g/cm ³)	1,8

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

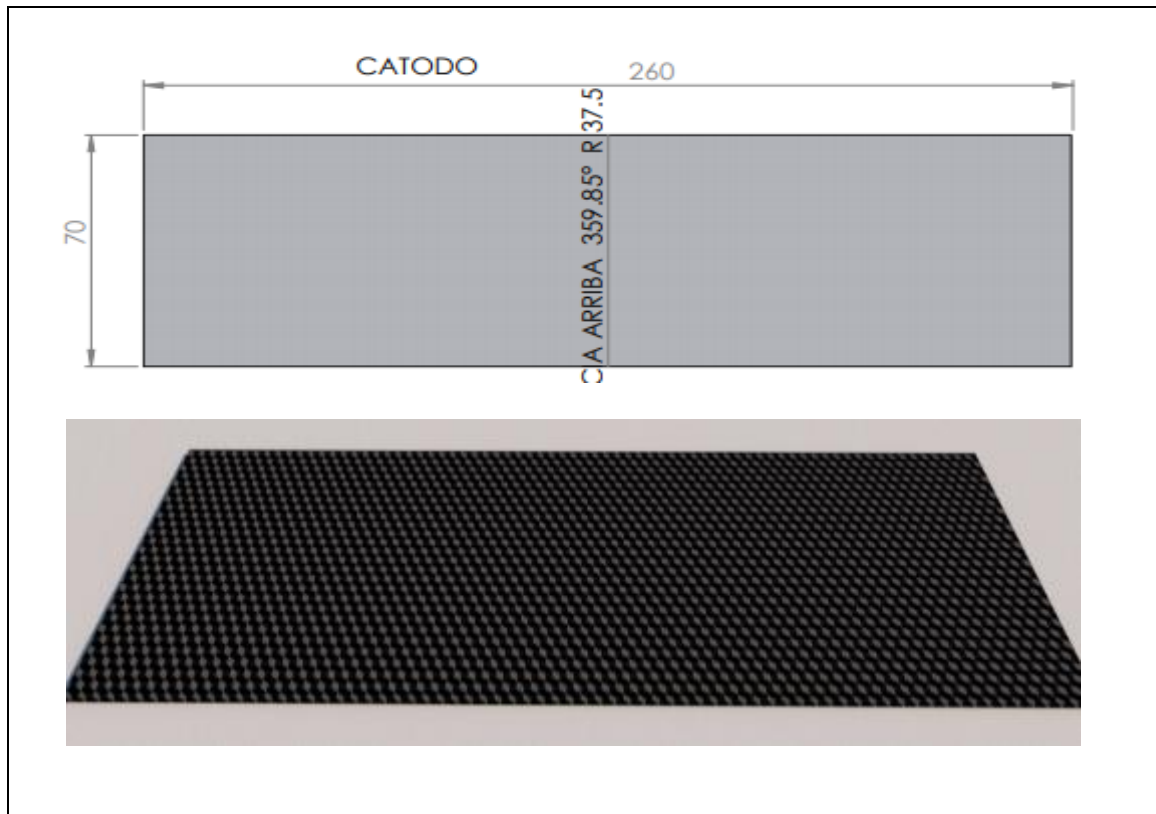
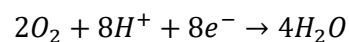


Figura 23-4. Dimensionado Del Cátodo

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

La interacción de cátodo con el oxígeno presente en el ambiente, siendo este el aceptor de electrones por su alto potencial de oxidación, disponibilidad y sustentabilidad nos permitió obtener la liberación de electrones en las siete celdas tratadas, la reacción que se genera durante este proceso es

Ecuación 4-4. Interacción del cátodo en el ambiente



4.2.7. Dimensionado Del La Membrana De Intercambio Protónico

La gran variedad de diseños utilizados por GEAA – ESPOCH nos ha permitido realizar una comparación para obtener un como resultado final que el Parafilm es un material altamente manejable, se adhiere con facilidad a las paredes de la cámara anódica, brinda una mayor hermeticidad a la celda y permite las condiciones ideales para el crecimiento y reproducción de los microorganismos presentes en la cámara anódica. El grafico representa la PEM con sus respectivas dimensiones las cuales fueron utilizadas para su posterior ensamblaje, el diámetro de membrana es de 240mm y una altura de 7mm.

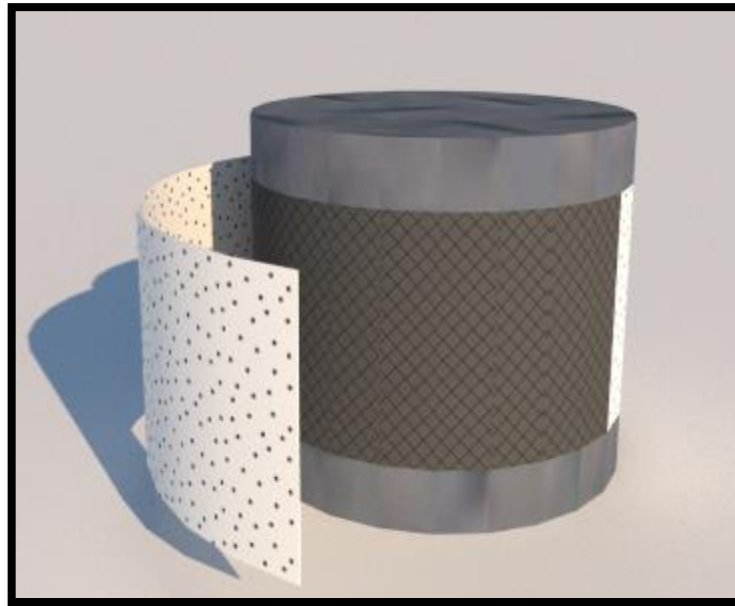


Figura 24-4. Dimensionado Del La Membrana De Intercambio Protónico

4.3. Construcción y Ensamblaje.

Se realizó la construcción de la base de la celda, anillo superior y tapa con las especificaciones, su arquitectura está hecha a base de Grilón material resistente a altas temperatura, se mecanizo tomando en cuenta las medidas dimensionadas en su diseño, el interior de la base posee bordes redondos, este diseño impide la acumulación de microorganismos.

El anillo superior y base de la celda poseen un desbastado el cual permite un mayor acople en la guía de la base membrana, la tapa posee un orificio en el cual se introduce el circuito hacia el ánodo figura

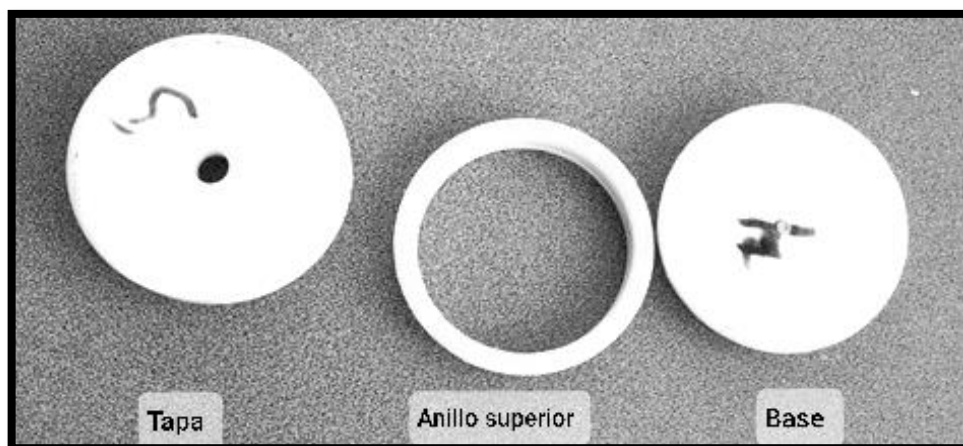


Figura 25-4. Modelado de piezas

Desde el modelado de la pieza a través del programa SOLIWORD hasta la impresión de mediante técnicas de impresión 3D para la obtención de las piezas (tensor, base membrana y protectores) mismas que durante su elaboración en su elaboración se detectó errores las cuales se pudo mejorar añadiéndole detalles en el diseño para su corrección en la impresión disminuyendo tiempos de impresión, costes y mejorando las características del diseño.



Figura 26-4. Piezas en fibra de carbono

4.4. Accesorios

4.4.1. Tornillos y tuercas

Tornillo allen botón inoxidable de 6 mm de diámetro y 40mm de largo, se utilizaron seis por CCMs brindándole una mayor fijación entre los protectores y tensores, se utilizaron tuercas de seguridad y normales ubicadas en la parte inferior y superior de los tensores proporcionando una hermeticidad alta a la celda.



Figura 27-4 Tornillos y tuercas

4.4.2. Varilla de acero inoxidable

Utilizadas para la formación del cilindro de la cámara anódica, dándole soporte a la base inferior y superior de la base membrana se utilizó 4 por cada CCMs, las medidas de la varilla son 6mm de diámetro y altura de 60 mm



Figura 28-4. Varilla de acero inoxidable

Para el montaje de la CCMs el dispositivo experimental consto de:

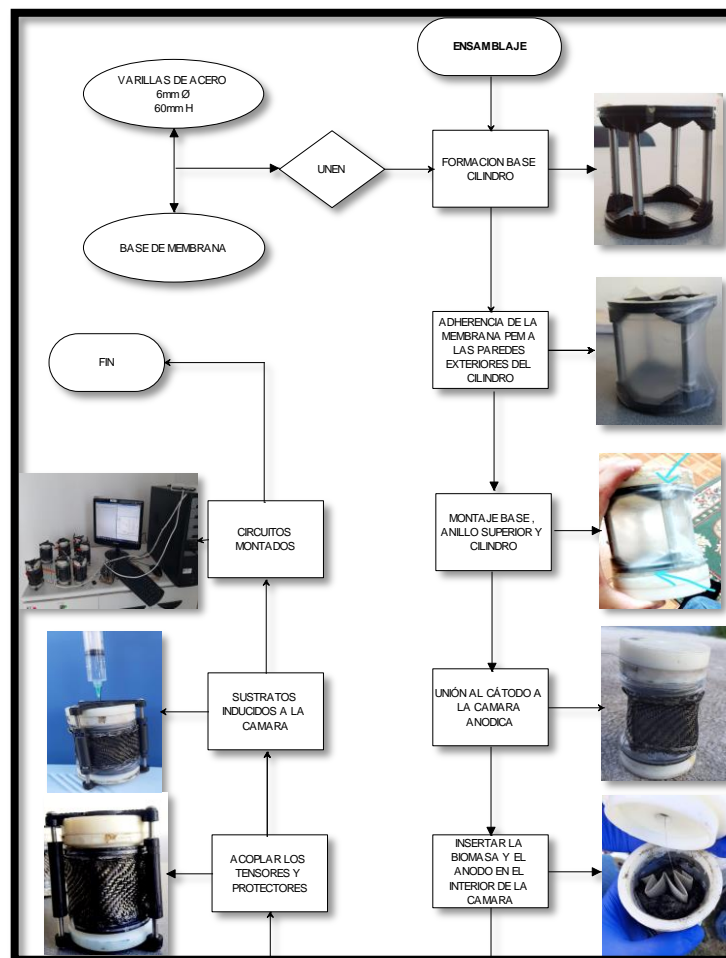


Figura 29-4. Diagrama de montaje

4.4.3. Cámara anódica

Consiste en un cilindro fijo, el cuerpo interior del mismo posee un volumen de 250,50cm³, en el cual se colocó el ánodo (malla de acero inoxidable) se colocó el inoculo con bacterias anaerobias (167,8 cm³ de lodo residuales), finalmente se colocó el sustrato con una jeringuilla de 20ml (50cm³ de acetato y glucosa a 1M) se cerró herméticamente los bordes sellándolos con silicona para evitar posibles derrames.

4.4.4. Ánodo

Malla de acero inoxidable depositada en el interior de la cámara anódica

4.4.5. Cátodo

Tela de fibra de carbón, colocada en la parte externa de las paredes de la CCMs sobre la membrana de intercambio protónico.

4.4.5.1. Membrana de intercambio protónico

Parafilm, adherida a la pared externa del cilindro que forma la base membrana

4.4.5.2. Circuitos

Se utilizó cable UTP 2m el extremo superior conectado a la bornera y el otro acoplado a los lagartos (negro: ánodo y rojo: cátodo). La bornera se enlaza a la DAQ y esta es articulada a la computadora.

4.4.6. Análisis de lodos.

Tabla 12-4. Análisis de lodos

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO
pH		* 6 - 9	7,43
Temperatura	° C	-	17,60
Conductividad	µs/cm	-	2,94
Humedad	%	-	54,70

CARACTERISTICAS QUÍMICAS			
PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO
C-N		-	35
Materia orgánica	%	-	20,02
Nitrógeno amoniacal	%		51,8
Sodio	mg /kg	-	732,84
ANÁLISIS BACTERIOLOGICO			
PARÁMETROS	UNIDADES	LÍMITE PERMISIBLE	RESULTADO
Coliformes Fecales	UFC / 100 mL	-	Múltiples >10

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

La caracterización de los lodos se realizó para determinar si los parámetros analizados poseen la capacidad de modificar o intervenir durante las conversiones que se realizan entre la materia orgánica, sustrato, ánodo y la membrana de intercambio protónico presentes en la CCMs.

El pH de la muestra debe ser neutro ya que es el ambiente idóneo para la proliferación de las bacterias residentes en los lodos residuales, el % de C/N es de 35 proporción encontrada en la biomasa, son dos elementos indispensables para el desarrollo de la vida ya que afectan directa a los procesos biológicos generados en la CCMs y el % de materia orgánica es de 20,02.

4.4.7. Resultado del testeo.

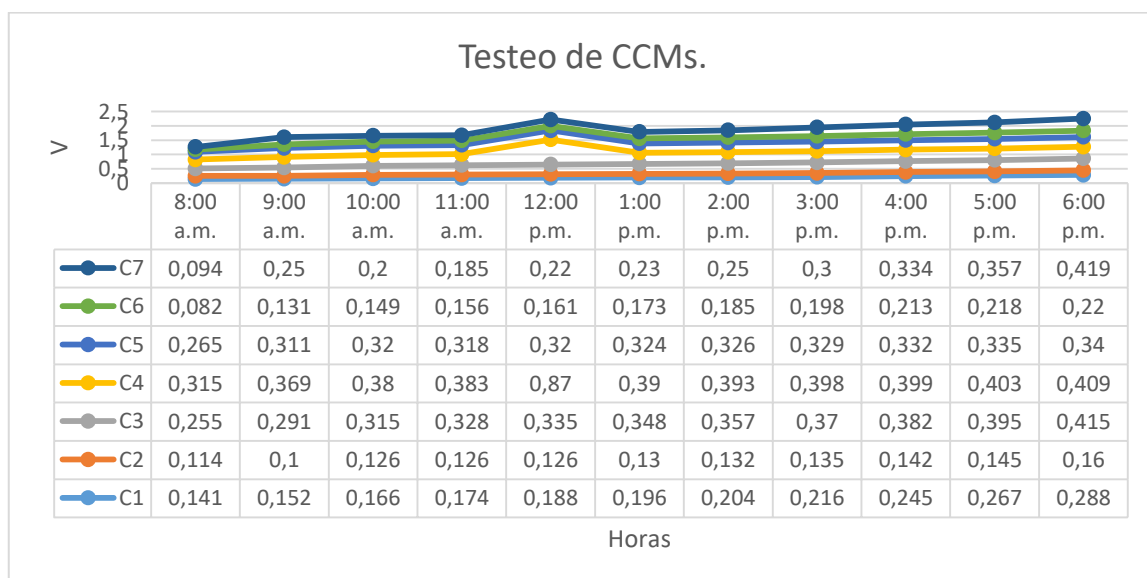


Gráfico 2-4. Resultado del testeo

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Representa el monitoreo de las siete CCMs durante once horas en la cual se observa la tendencia en crecimiento eléctrico en mili voltios (mV). Las celdas C1, C2 y C3 siguen un patrón lineal con bajo crecimiento, las cámaras C4, C5, C6, y C7 durante las primeras cuatro horas el incremento eléctrico fue normal, pero a las 12pm se observa una evolución alta y de 1pm a 6pm tiene un crecimiento exponencial.

4.4.8. Desempeño de las celdas de combustible microbiológica.

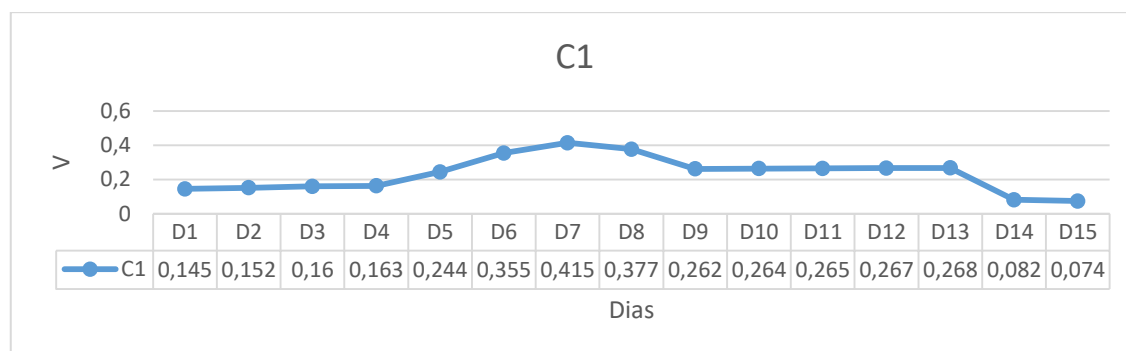


Gráfico 3-4. Crecimiento de microorganismos C1

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Se observa que el crecimiento de los microorganismos presente en la CCMs-C1 durante los primeros cuatro días permaneció constante siendo el promedio de generación de 0,16 V debido a que se encuentran en una etapa de adaptación del medio de cultivo y al sustrato acetato, durante D6-D7 los microorganismos se reproducen proporcionando un crecimiento exponencial en la curva generando los mayores picos de producción de voltaje de 0,42 V, en el D8-D9 existe un declive de producción de voltios, del D10-D13 existe un crecimiento lineal y D14-D15 se produce la muerte de los microorganismos proporcionándonos los rangos más bajos de voltaje 0,07 V

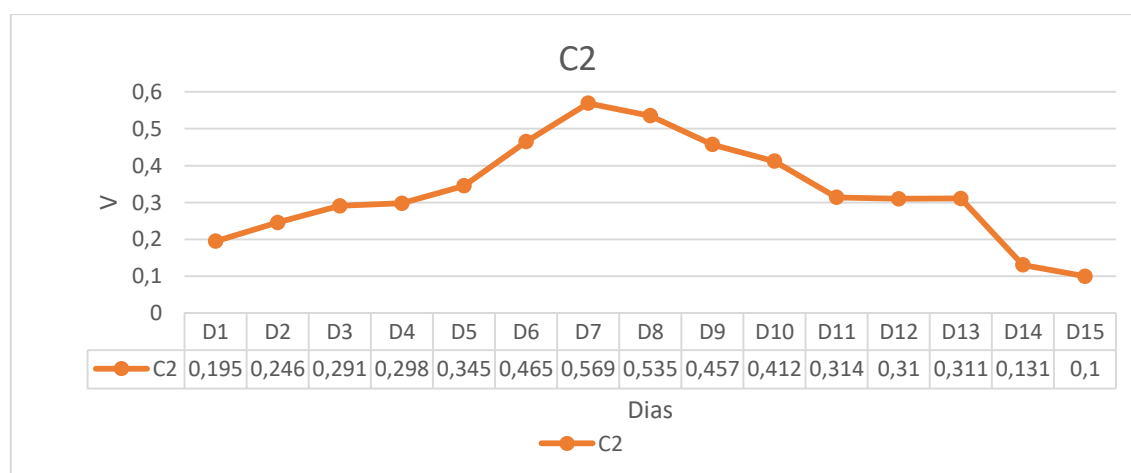


Gráfico 4-4. Crecimiento de microorganismos C2

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

De los días monitoreados en los primeros cinco existe generación de bioelectricidad baja produciendo un promedio de 0,278 V, en el día 6 ,7 y 8 se obtuvieron los picos más altos de voltaje 0,53 V, del noveno al onceavo día se da el declive de los microorganismos y esto se refleja en la producción de voltios 0,393 V hasta llegar a la muerte de los mismo lo que ocasiona una producción de mV despreciables.

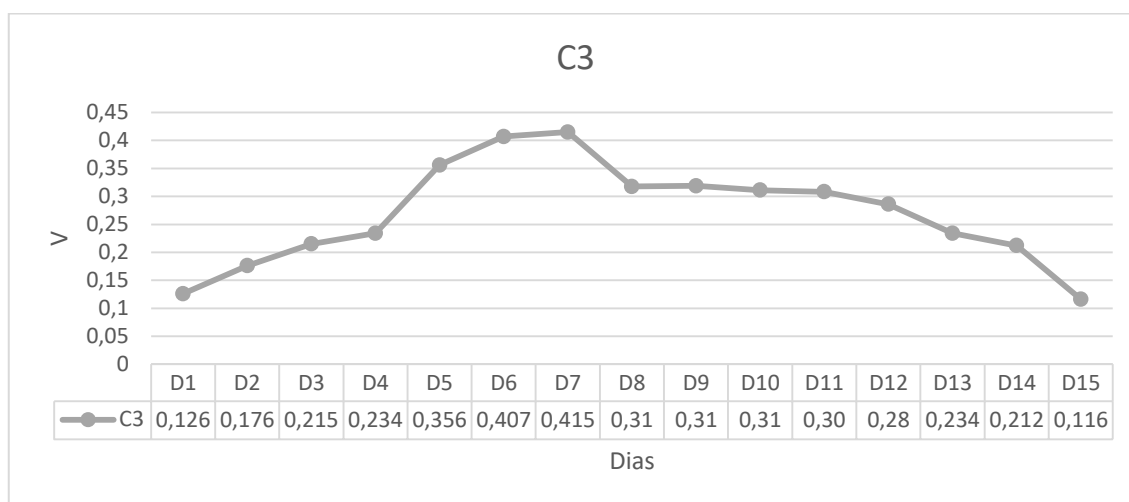


Gráfico 5-4. Crecimiento de microorganismos C3

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

El crecimiento de los microorganismos durante los primeros cuatro días permaneció relativamente constante 0,2 V, la evolución exponencial de la curva se origina porque en esta etapa se realiza la reproducción de los microorganismos generando picos altos de voltios 0,478, la muerte microbiana inicia desde el día 9 produciendo 0,3 V hasta su muerte día 15.

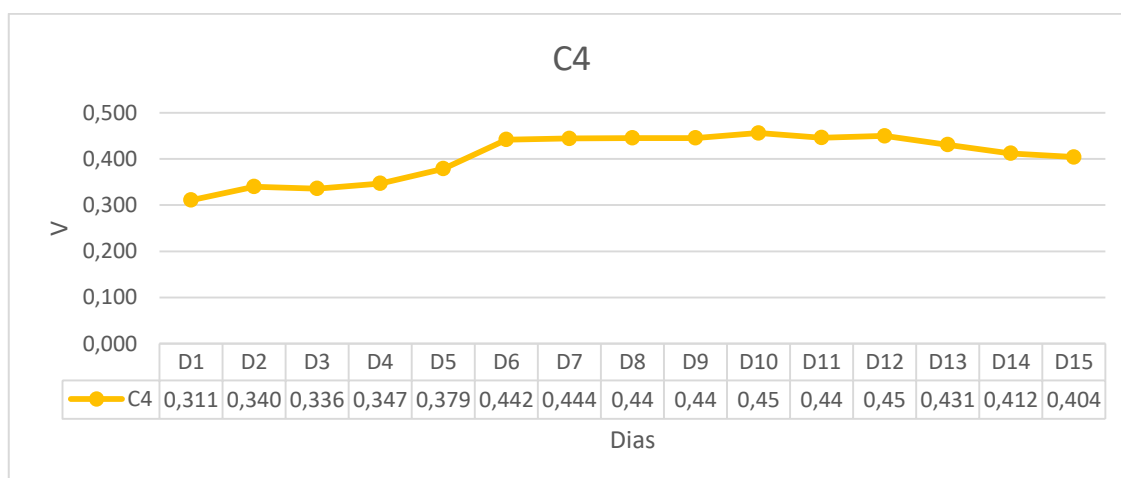


Gráfico 6-4. Crecimiento de microorganismos C4

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

El grafico representa la muestra “blanco” es decir las condiciones ideales con la cual se compara la generación de voltaje de las celdas con los sustratos agregados acetato y glucosa creando los niveles más altos de voltios 0,456.

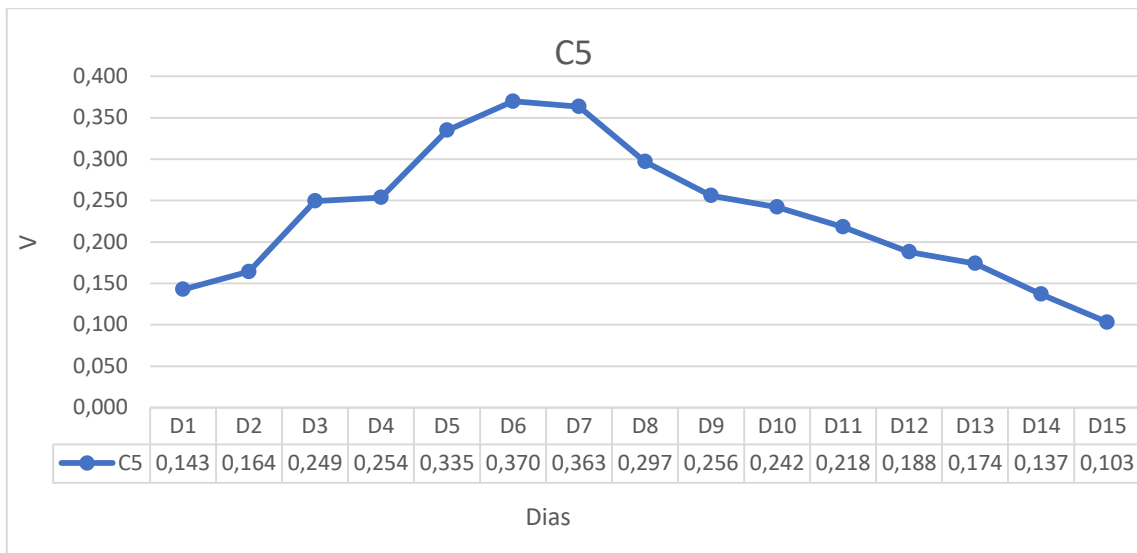


Gráfico 7-4. Crecimiento de microorganismos C5

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

La curva representa la generación de voltaje de los 15 días de monitoreo de la celda con la adición del sustrato glucosa se observa que en los días D5, D6 y D7 la producción de voltaje es mayor generando 0,373 V.

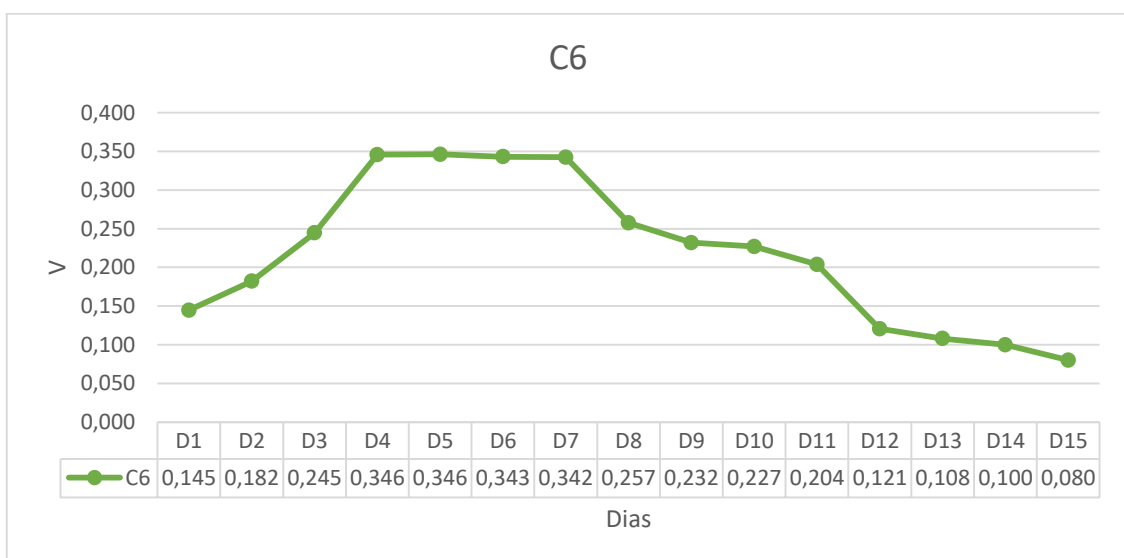


Gráfico 8-4. Crecimiento de microorganismos C6

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

La producción de voltaje en la CCMs- C6 se realiza durante los días 4, 5, 6 y 7 originando un crecimiento de 0,3 V, los microorganismos presentes en la cámara anódica llegan a la fase estacionaria generación 0,234 V, durante el declive y muerte se genera 0,08 V cantidad despreciable en comparación a días anteriores.

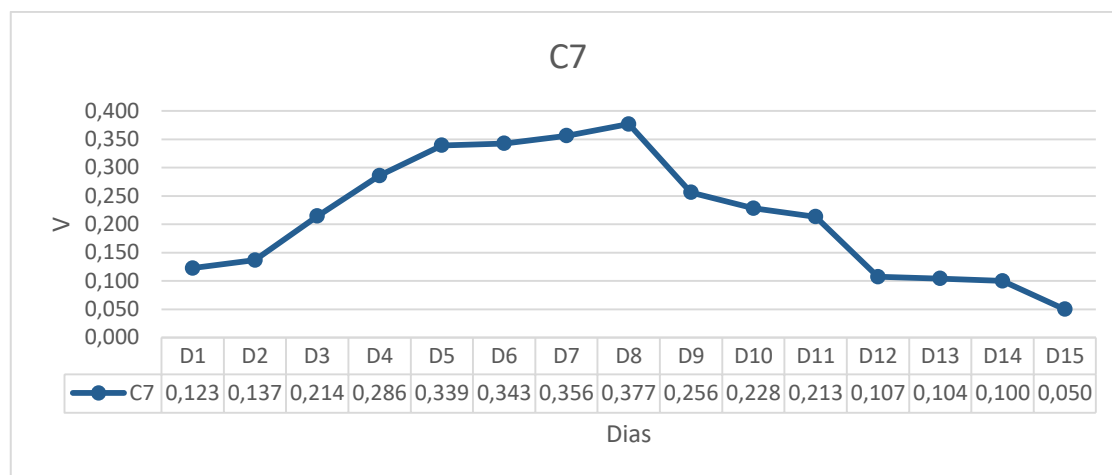


Gráfico 9-4. Crecimiento de microorganismos C7

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Los resultados nos indican que los días de mayor generación de mili voltios fueron del D5 al D8 0,377 V, en la etapa o fase estacionaria la producción de voltios es de 0,228 y durante la fase de muerte que comprenden los días D12 al D15 se obtiene 0,050 V.

4.4.8.1. Curvas de polarización

El área del ánodo es 40.7 cm² este dato se utiliza para calcular la densidad de corriente y potencia mismas que son graficadas para obtener curvas de polarización estas fueron ajustada a un modelo de regresión lineal simple.

La corriente fue calculada mediante la ley de Ohm $I=V/R$ y la potencia con la ecuación disipada de una resistencia $P=V^2/R$

Tabla 13-4. Datos de polarización C1

Resistencia Ω	Voltaje (mV)	Corriente mA C1	Potencia mW	Densidad de corriente	Densidad de poder
100000	40,60	0,41	0,02	0,01	0,00
5000	65,40	13,08	0,86	0,32	0,02
3000	94,30	31,43	2,96	0,77	0,07
2000	167,60	83,80	14,04	2,06	0,35

1500	223,70	149,13	33,36	3,66	0,82
1000	241,90	241,90	58,52	5,94	1,44
900	243,60	270,67	65,93	6,65	1,62
800	245,20	306,50	75,15	7,53	1,85
700	251,70	359,57	90,50	8,83	2,22
600	257,40	429,00	110,42	10,54	2,71
500	265,40	530,80	140,87	13,04	3,46
400	367,60	919,00	337,82	22,58	8,30
300	1,20	4,00	0,00	0,10	0,00
200	0,47	2,36	0,00	0,06	0,00
100	0,00	0,00	0,00	0	0
50	0,00	0,00	0,00	0	0

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

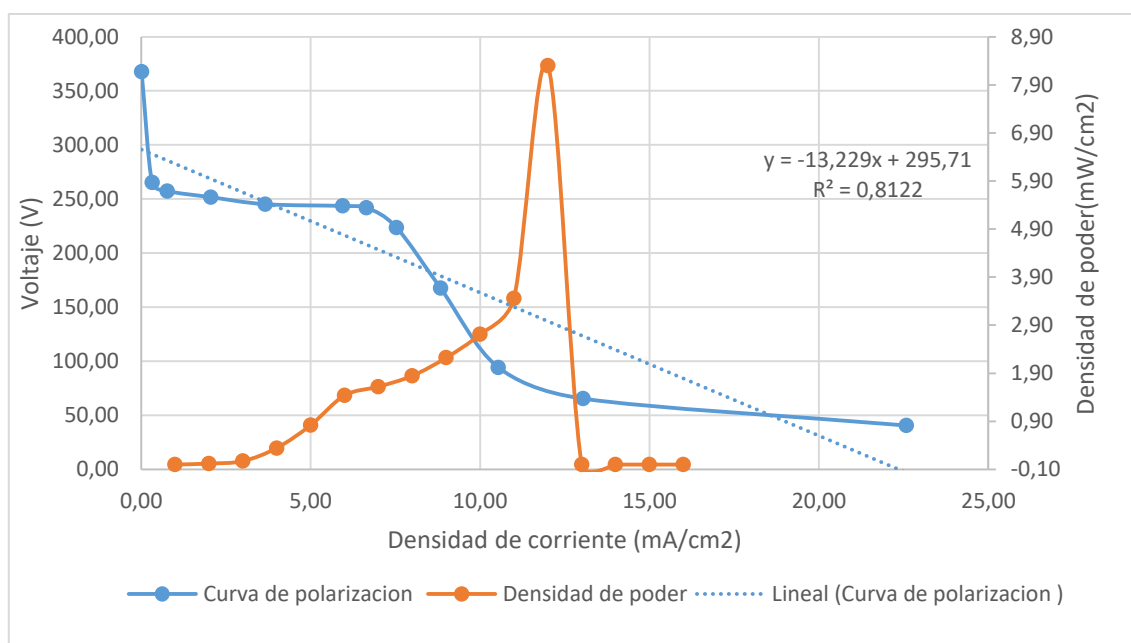


Gráfico 10-4. Curva de polarización C1

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Tabla 14-4. Datos de polarización C2

Resistencia Ω	Voltaje (mV)	Corriente mA	Potencia mW	Densidad de corriente	Densidad de poder
100000	576,90	5,77	3,33	0,1	0,1
5000	535,30	107,06	57,31	2,6	1,4
3000	506,40	168,80	85,48	4,1	2,1
2000	460,00	230,00	105,80	5,7	2,6
1500	438,30	292,20	128,07	7,2	3,1

1000	394,70	394,70	155,79	9,7	3,8
900	360,65	400,72	144,52	9,8	3,6
800	320,20	400,25	128,16	9,8	3,1
700	287,80	411,14	118,33	10,1	2,9
600	256,60	427,67	109,74	10,5	2,7
500	225,80	451,60	101,97	11,1	2,5
400	190,60	476,50	90,82	11,7	2,2
300	174,60	582,00	101,62	14,3	2,5
200	140,00	700,00	98,00	17,2	2,4
100	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0
50	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

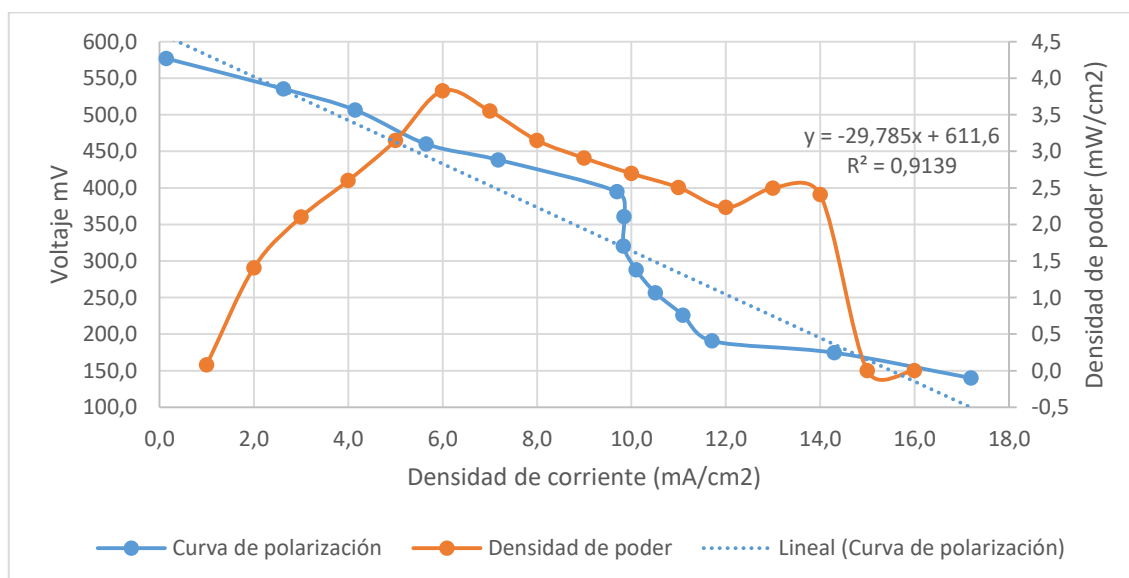


Gráfico 11-4. Curva de polarización C2

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Tabla 15-4. Datos de polarización C3

Resistencia Ω	Voltaje (mV)	Corriente mA	Potencia mW	Densidad de corriente	Densidad de poder
100000	91,400	0,914	0,08	0,022	0,00
5000	119,800	23,960	2,87	0,589	0,07
3000	139,700	46,567	6,51	1,144	0,16
2000	159,300	79,650	12,69	1,957	0,31
1500	120,400	80,267	9,66	1,972	0,24
1000	58,600	58,600	3,43	2,130	0,08
900	43,400	48,222	2,09	2,240	0,05

800	40,800	51,000	2,08	2,300	0,05
700	18,600	26,571	0,49	2,310	0,01
600	0,600	1,000	0,00	2,350	0,00
500	0,600	1,200	0,00	2,400	0,00
400	0,600	1,500	0,00	2,590	0,00
300	0,600	2,000	0,00	2,800	0,00
200	0,175	0,875	0,00	2,950	0,000
100	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000
50	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

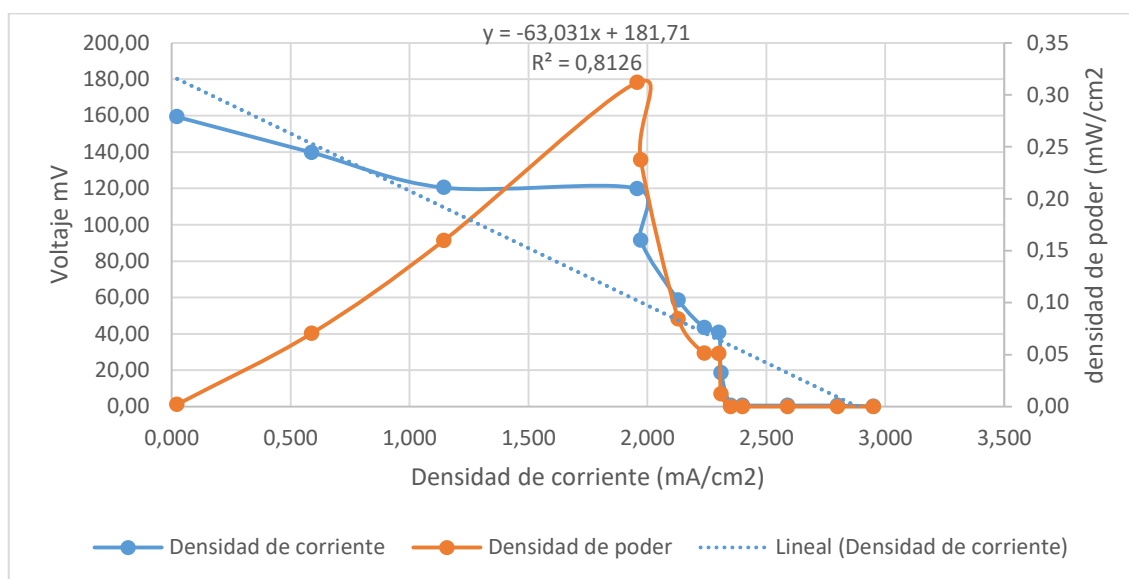


Gráfico 12-4. Curva de polarización C3

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Las CCMs1, 2 ,3 utilizan como sustrato acetato, las curvas de polarización representan la cantidad de intensidad eléctrica generado por el área del ánodo, La resistencia óhmica de las celdas se calcula a partir de la porción lineal de la pendiente en la región de la línea recta de la tensión frente a la densidad de corriente CCMs utilizo como un parámetro de evaluación. La curva de polarización se muestra la densidad de potencia máxima (C1: 831, C2:3,8, C3: 0,31) mW / cm² y la resistencia óhmica es (C1:400, C2:1000, C3:2000) Ω a partir de la porción lineal estimada (C1: 22,58, C2:9,7, C3:1,9) mV / cm².

Tabla 16-4. Datos de polarización C4

Resistencia Ω	Voltaje (mV)	Corriente mA	Potencia mW	Densidad de corriente	Densidad de poder
100000	119,200	1,192	0,14	0,03	0,00
5000	130,300	26,060	3,40	0,64	0,08

3000	142,100	47,367	6,73	1,16	0,17
2000	156,200	78,100	12,20	1,92	0,30
1500	168,100	112,067	18,84	2,75	0,46
1000	180,700	180,700	32,65	4,44	0,80
900	196,800	218,667	43,03	5,37	1,06
800	219,900	274,875	60,45	6,75	1,49
700	234,700	335,286	78,69	8,24	1,93
600	247,500	412,500	102,09	10,14	2,51
500	262,200	524,400	137,50	12,88	3,38
400	270,900	677,250	183,47	16,64	4,51
300	285,000	950,000	270,75	23,34	6,65
200	119,100	595,500	70,92	14,63	1,74
100	75,000	750,000	56,25	18,43	1,38
50	3,050	61,000	0,19	1,50	0,00

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

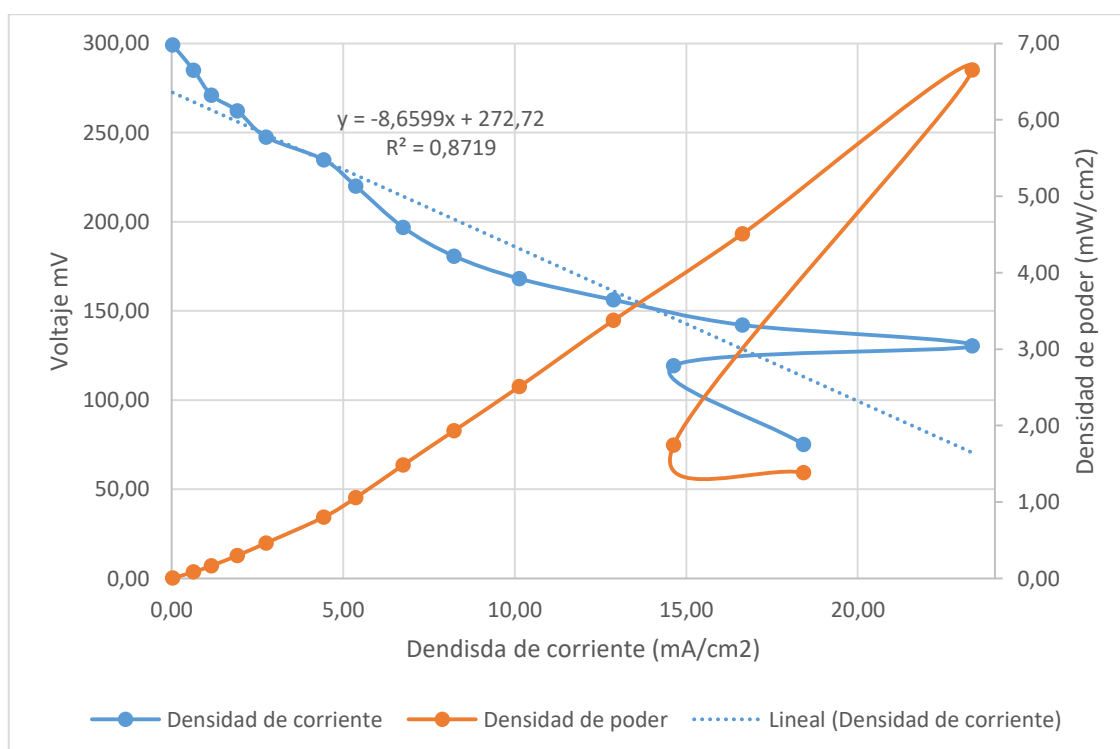


Gráfico 13-4. Curva de polarización C4

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

CCMs 4 blanco (sin sustrato), representa la cantidad de intensidad eléctrica generado por el área del ánodo, La curva de polarización se muestra la densidad de potencia máxima C4: 3,38 mW / cm² y la resistencia óhmica es C4: 500Ω a partir de la porción lineal estimada C4:12,88 mV / cm².

Tabla 17-4. Datos de polarización C5

Resistencia Ω	Voltaje (mV)	Corriente mA C3	Potencia mW	Densidad de corriente	Densidad de poder
100000	30,80	0,31	0,01	0,0	0,0
5000	130,30	26,06	3,40	0,6	0,1
3000	210,40	70,13	14,76	1,7	0,4
2000	248,30	124,15	30,83	3,1	0,8
1500	251,90	167,93	42,30	4,1	1,0
1000	277,00	277,00	76,73	6,8	1,9
900	358,40	398,22	142,72	9,8	3,5
800	284,10	355,13	100,89	8,7	2,5
700	385,40	550,57	212,19	13,5	5,2
600	400,60	667,67	267,47	16,4	6,6
500	425,20	850,40	361,59	20,9	8,9
400	450,90	1127,25	508,28	27,7	12,5
300	490,70	1635,67	802,62	40,2	19,7
200	500,32	2501,60	1251,60	61,5	30,8
100	6,00	60,00	0,36	1,5	0,0
50	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

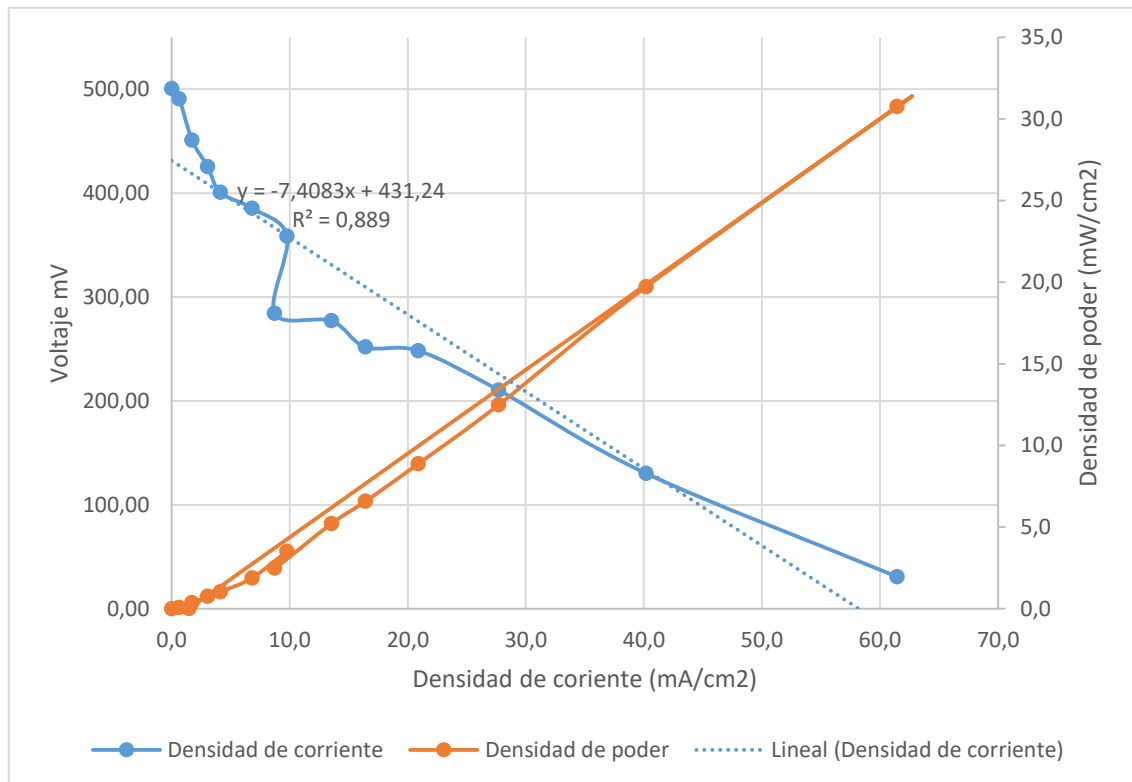


Gráfico 14-4. Curva de polarización C5

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Tabla 18-4. Datos de polarización C6

Resistencia Ω	Voltaje (mV)	Corriente mA	Potencia mW	Densidad de corriente	Densidad de poder
100000	108,800	1,088	0,1184	0,027	0,003
5000	140,800	28,160	3,9649	0,692	0,097
3000	160,500	53,500	8,5868	1,314	0,211
2000	180,900	90,450	16,3624	2,222	0,402
1500	205,610	137,073	28,1836	3,368	0,692
1000	269,890	269,890	72,8406	6,631	1,790
900	280,600	311,778	87,4848	7,660	2,150
800	297,700	372,125	110,7816	9,143	2,722
700	340,700	486,714	165,8236	11,959	4,074
600	356,200	593,667	211,4641	14,586	5,196
500	369,200	738,400	272,6173	18,143	6,698
400	400,100	1000,250	400,2000	24,576	9,833
300	415,600	1385,333	575,7445	34,038	14,146
200	120,000	600,000	72,0000	14,742	1,769
100	70,000	700,000	49,0000	17,199	1,204
50	26,000	520,000	13,5200	12,776	0,332

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

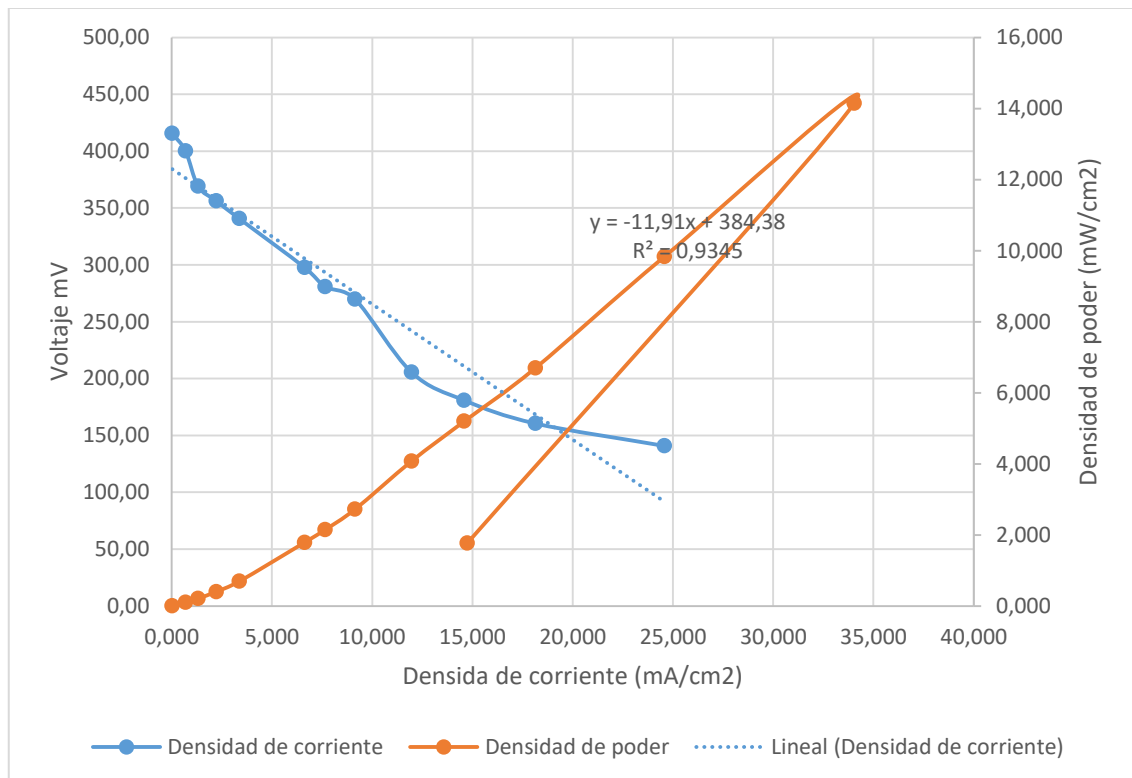


Gráfico 15-4. Curva de polarización C6

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Tabla 19-4. Datos de polarización C7

Resistencia Ω	Voltaje (mV)	Corriente mA	Potencia mW	Densidad de corriente	Densidad de poder
100000	169,500	1,6950	0,2873	0,04	0,01
5000	186,900	37,3800	6,9863	0,92	0,17
3000	202,340	67,4467	13,6472	1,66	0,34
2000	218,900	109,4500	23,9586	2,69	0,59
1500	222,001	148,0007	32,8563	3,64	0,81
1000	236,100	236,1000	55,7432	5,80	1,37
900	256,900	285,4444	73,3307	7,01	1,80
800	270,800	338,5000	91,6658	8,32	2,25
700	279,600	399,4286	111,6802	9,81	2,74
600	284,200	473,6667	134,6161	11,64	3,31
500	290,400	580,8000	168,6643	14,27	4,14
400	296,800	742,0000	220,2256	18,23	5,41
300	315,300	1051,0000	331,3803	25,82	8,14
200	385,000	1925,0000	741,1250	47,30	18,21
100	140,000	1400,0000	196,0000	34,40	4,82
50	86,000	1720,0000	147,9200	42,26	3,63

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

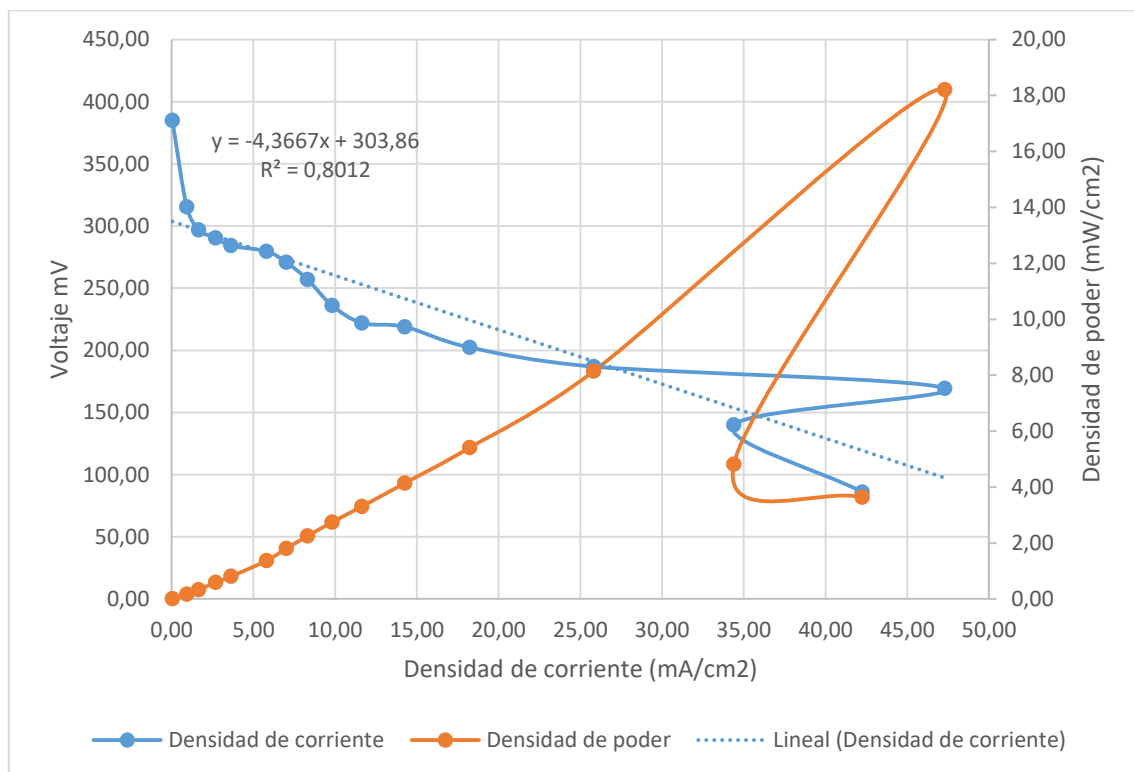


Gráfico 16-4. Curva de polarización C7

Realizado por: Buñay P; Sanunga M, 2019

Celdas 5,6,7 sustrato glucosa, La curva de polarización muestra la densidad de potencia máxima (C5: 30,8, C6: 14,146, C7: 18,21) mW / cm² y la resistencia óhmica es (C5:200, C6:300, C7:200) Ω a partir de la porción lineal estimada (C5: 31,5, C6:34,08, C7:47,30) mV / cm².

4.5. Cálculos de ingeniería

4.5.1. Volumen del cilindro

Ecuación 5-4. Volumen del cilindro

Según (Gómez y otros, 2013) la densidad de los lodos residuales es 1,49g/cm³

$$V_{cil} = \pi r^2 h$$

$$Volumen\ del\ cilindro = 3,1416 \times 3,1\text{cm}^2 \times 8,3\text{cm} = 250,58\text{cm}^3$$

4.5.2. Volumen del lodo.

Ecuación 6-4. Volumen del lodo

$$Densidad\ ld = \frac{Masa}{Volumen},\ Volumen = \frac{masa}{densidad\ ld}$$

$$Volumen\ del\ lodo = \frac{250\text{g}}{1,49\text{g/cm}^3} = 167,8\text{ cm}^3$$

4.5.3. Disolución de sustratos.

Ecuación 7-4. Molaridad

$$Molaridad = \frac{Masa\ del\ soluto}{litro\ de\ solución}$$

Acetato de sodio

Glucosa

$$Molaridad = \frac{82,300\text{g}}{1\text{l}} = 1\text{MCH}_3\text{COONa}$$

$$Molaridad = \frac{180,156\text{g}}{1\text{l}} = 1\text{MC}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

4.5.4. Volumen total de la cámara

Ecuación 8-4. Volumen de la cámara

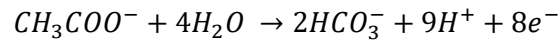
$$Volumen\ total\ de\ la\ cámara = Volumen\ del\ lodo + volumen\ del\ sustrato$$

$$1\text{Volumen\ total\ de\ la\ cámara} = 67,8\text{ cm}^3 + 50\text{cm}^3 = 217,8\text{cm}^3$$

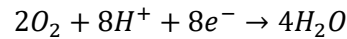
4.5.5. Cálculos estequiométricos de la CCMs con sustrato acetato

Ecuación 9-4. Estequiométricos de la CCMs con sustrato acetato

- Ánodo



- Cátodo



Tener en cuenta de que la celda es de tipo cátodo al aire, por lo cual se utilizara el aire como agente reductor, el oxígeno se oxida en agua.

4.5.5.1. Relaciones electroquímicas

Ecuación 10-4. Relaciones electroquímicas

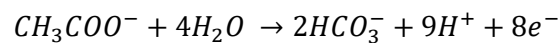
$$V_{MFC} = E^0(T, P) - \eta_{act,a} - |\eta_{act,c}| - \eta_r - \eta_{con,a} - |\eta_{con,c}| - \eta_x$$

$$V^0(T, P) = E_C^0 - E_A^0, \eta_x \approx 0$$

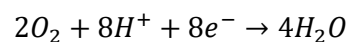
4.5.5.2. Análisis termodinámico

Ecuación 11-4. Análisis termodinámico

En el ánodo:

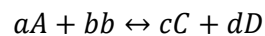
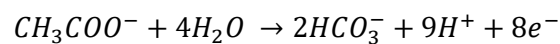


Para el cátodo



4.5.5.3. Actividad

Para la reacciona anódica se basa en la siguiente reacción:



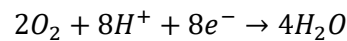
Aplicando equilibrio químico queda:

Ecuación 12-4. Equilibrio químico

$$Q = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

$$Q = \frac{[CH_3COO^-]}{([HCO_3^-])^2 ([H^+]^9)}$$

Para la reacción catódica se basa en la siguiente reacción:



Aplicando equilibrio químico queda:

$$Q = \frac{[1]}{([O_2^-])^2([H^+]^8)}$$

4.5.5.4. Voltaje de salida teórica

Se calcula el potencial del ánodo usando la ecuación de Nernst:

Ecuación 13-4. Ecuación de nernst

$$E_{Anodo} = E_{0a} - \frac{RT}{nF} \ln(Q)$$

$$E_{Anodo} = 0.187 - \frac{(8.314 * 298.15)}{(8 * 96485)} \ln \frac{1}{0.3^2 0.3^9}$$

$$E_{Anodo} = 0.187 - (0.03211 * 13.1223)$$

$$E_{Anodo} = 0.187 - 0.421359$$

$$E_{Anodo} = -0.2343 V$$

$$E_{Catodo} = E_{0c} - \frac{RT}{nF} \ln(O)$$

$$E_{Catodo} = 1.23 - \frac{(8.314 * 298.15)}{(8 * 96485)} \ln \frac{1}{0.3125^2 0.3125^8}$$

$$E_{Catodo} = 1.23 - (0.03211 * 11.654)$$

$$E_{Catodo} = 1.23 - 0.3742$$

$$E_{Catodo} = 0.855 V$$

Para el voltaje total se aplica:

$$E_{celda} = E_{cátodo} - E_{ánodo}$$

$$E_{celda} = 0.855 - (-0.2343)$$

$$E_{celda} = 1.09 V$$

4.5.5.5. Pérdidas por activación

Para la pérdida por activación de los electrodos en una MMCs la ecuación que gobierna este fenómeno es Butler-Volmer:

Ecuación 14-4. Butler-Volmer

$$I_{MFCs} = i_0 A_{sur} \left[\exp\left(\frac{\beta_1 - nFV_{act}}{RT}\right) - \exp\left(\frac{\beta_2 - nFV_{act}}{RT}\right) \right]$$

Pero se puede reducir a la Ecuación de Tafel:

Ecuación 15-4. Ecuación de Tafel

$$V_{act} \approx \frac{RT}{nF} \left(\frac{I_{MFC}}{i_0 A_{sur}} \right)$$

$$V_{act} = \frac{(8.314 * 298)}{(8 * 96485)} \left(\frac{0.2}{100 * 0.012} \right)$$

$$V_{act} = (0.0032)(0.166)$$

$$V_{act} = 0.0005 \text{ V}$$

4.5.5.6. *Pérdidas óhmicas*

Son las resistencias al flujo de electrones o iones durante la operación de una celda combustible, por lo cual se utiliza la ley de Ohm modificada:

Ecuación 16-4. Ley de Ohm modificada

$$V_{ohm} = R_{int} I_{MFC}$$

$$V_{ohm} = (0.24)(0.2)$$

$$V_{ohm} = 0.048 \text{ V}$$

4.5.5.7. *Pérdidas por concentración de los sustratos*

Son las pérdidas por el decrecimiento del potencial de la celda, esto debido a la conversión de los sustratos en nuevos compuestos, para lo cual se utiliza la ecuación de Nernst:

Ecuación 17-4. Ecuación de Nernst

$$\Delta E = V_{conc} = \frac{RT}{nF} \ln\left(\frac{C_{sust}}{C_{superficie}}\right)$$

Aplicando la ley de Fick:

Ecuación 18-4. Ley de Fick

$$\frac{C_{Sus}}{S_{superficie}} = \frac{I_L^R - I_{MFC}}{I_L^R}$$

En función de la corriente:

$$V_{conc} = \frac{RT}{nF} \ln \left(1 - \frac{I_{MFC}}{I_L^R} \right)$$

$$V_{conc} = \frac{(8.314 * 298)}{(8 * 96485)} \ln \left(1 - \frac{0.2}{1} \right)$$

$$V_{conc} = (0.0032)(-0.223)$$

$$V_{conc} = -0.00071 V$$

4.5.5.8. Voltaje real de la MMCs

Ecuación 19-4. Voltaje real

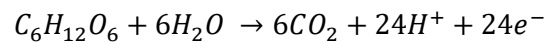
$$V_{MMCs} = E^0(T, P) - \eta_{act,a} - |\eta_{act,c}| - \eta_r - \eta_{con,a} - |\eta_{con,c}| - \eta_x$$

$$V_{MFC} = (1.09 - 0.0005 - 0.048 - 0.00071) V$$

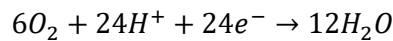
$$V_{MFC} = 1.04 V$$

4.5.5.9. Cálculos estequiométricos de la MMCs con sustrato glucosa

- Ánodo



- Cátodo



Tener en cuenta de que la celda es de tipo cátodo al aire, por lo cual se utilizara el aire como agente reductor, el oxígeno se oxida en agua.

4.5.5.10. Relaciones electroquímicas

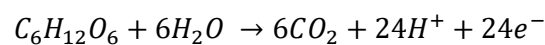
Ecuación 20-4. Relaciones electroquímicas

$$V_{MMCs} = E^0(T, P) - \eta_{act,a} - |\eta_{act,c}| - \eta_r - \eta_{con,a} - |\eta_{con,c}| - \eta_x$$

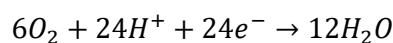
$$V^0(T, P) = E_C^0 - E_A^0, \eta_x \approx 0$$

4.5.5.11. Análisis termodinámico

En el ánodo:

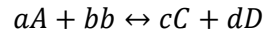
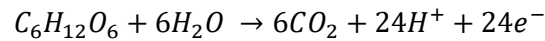


Para el cátodo



4.5.5.12. Actividad

Para la reacción anódica se basa en la siguiente reacción:



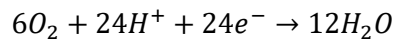
Aplicando equilibrio químico queda:

Ecuación 21-4. Equilibrio químico

$$Q = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

$$Q = \frac{[1]}{([CO_2])^6 ([H^+]^{24})}$$

Para la reacción catódica se basa en la siguiente reacción:



Aplicando equilibrio químico queda:

$$Q = \frac{[1]}{([O_2])^6 ([H^+]^{24})}$$

4.5.5.13. Voltaje de salida teórica

Con lo cual se calcula el potencial del ánodo, usando la ecuación de Nernst

Ecuación 22-4. Ecuación de Nernst

$$E_{Anodo} = E_{0a} - \frac{RT}{nF} \ln(Q)$$

$$E_{Anodo} = 0.014 - \frac{(8.314 * 298.15)}{(24 * 96485)} \ln \frac{1}{0.42^6 0.42^{24}}$$

$$E_{Anodo} = 0.014 - (0.0011 * 26.03)$$

$$E_{Anodo} = 0.014 - 0.0289$$

$$E_{Anodo} = -0.0149 V$$

$$E_{Catodo} = E_{0c} - \frac{RT}{nF} \ln(O)$$

$$E_{catodo} = 1.23 - \frac{(8.314 * 298.15)}{(24 * 96485)} \ln \frac{1}{0.3125^6 0.3125^{24}}$$

$$E_{catodo} = 1.23 - (0.0011 * 34.895)$$

$$E_{catodo} = 1.23 - 0.03838$$

$$E_{catodo} = 1.192 V$$

Para el voltaje total se aplica:

$$E_{celda} = E_{cátodo} - E_{ánodo}$$

$$E_{celda} = 1.192 - (-0.0149)$$

$$E_{celda} = 1.20 V$$

4.5.5.14. Pérdidas por activación

Para la pérdida por activación de los electrodos en una MMCs la ecuación que gobierna este fenómeno es Butler-Volmer:

Ecuación 23-4. Butler-Volmer

$$I_{MFC} = i_0 A_{sur} \left[\exp\left(\frac{\beta_1 - nFV_{act}}{RT}\right) - \exp\left(\frac{\beta_2 - nFV_{act}}{RT}\right) \right]$$

Pero se puede reducir a la Ecuación de Tafel:

Ecuación 24-4. Ecuación de Tafel

$$V_{act} \approx \frac{RT}{nF} \left(\frac{I_{MFC}}{i_0 A_{sur}} \right)$$

$$V_{act} = \frac{(8.314 * 298)}{(24 * 96485)} \left(\frac{0.2}{100 * 0.012} \right)$$

$$V_{act} = (0.0011)(0.166)$$

$$V_{act} = 0.00018 V$$

4.5.5.15. Pérdidas óhmicas

Son las resistencias al flujo de electrones o iones durante la operación de una celda combustible, por lo cual se utiliza la ley de Ohm modificada:

Ecuación 25-4. Ley de Ohm modificada

$$V_{ohm} = R_{int} I_{MFC}$$

$$V_{ohm} = (0.24)(0.2)$$

$$V_{ohm} = 0.048 V$$

4.5.5.16. Pérdidas por concentración de los sustratos

Son las pérdidas por el decrecimiento del potencial de la celda, esto debido a la conversión de los sustratos en nuevos compuestos, para lo cual se utiliza la ecuación de Nernst:

Ecuación 26-4. Ecuación de Nernst

$$\Delta E = V_{conc} = \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{C_{sust}}{C_{superficie}} \right)$$

Aplicando la ley de Fick:

Ecuación 27-4. Ley de Fick

$$\frac{C_{Sus}}{S_{superficie}} = \frac{I_L^R - I_{MFC}}{I_L^R}$$

En función de la corriente:

$$V_{conc} = \frac{RT}{nF} \ln \left(1 - \frac{I_{MFC}}{I_L^R} \right)$$

$$V_{conc} = \frac{(8.314 * 298)}{(24 * 96485)} \ln \left(1 - \frac{0.2}{1} \right)$$

$$V_{conc} = (0.0011)(-0.223)$$

$$V_{conc} = -0.00024 V$$

4.5.5.17. Voltaje real de la MMCs

Ecuación 28-4. Voltaje real

$$V_{MMCs} = E^0(T, P) - \eta_{act,a} - |\eta_{act,c}| - \eta_r - \eta_{con,a} - |\eta_{con,c}| - \eta_x$$

$$V_{MMCs} = (1.2 - 0.00018 - 0.048 - 0.00024) V$$

$$V_{MMCs} = 1.15 V$$

CONCLUSIONES

- Se identificó después de una exhaustiva comparación y pruebas de materiales; se pudo llegar a la conclusión que el material denominado “Grilon”, era el más adecuado para la CCMs, al ser un material de fácil trabajo y brinda la facilidad de ser autoclavable, es decir, se lo puede reutilizar un sin número de veces.
- Se determinó que el tiempo de vida del caldo fue de 15 días ya que en este lapso la producción llegó a su máximo y empezó a declinar hasta que la producción de bioelectricidad, ceso por completo.
- Se comprobó a lo largo del experimento que los electrodos tuvieron un funcionamiento óptimo tanto con el sustrato de glucosa como en el de acetato de sodio, sin presentar interrupciones en la producción de bioelectricidad.
- Se pudo cuantificar la producción de bioelectricidad con los respectivos sustratos por medio de un sensor DAQ, el cual redujo el margen de error en la toma de datos evitando errores aleatorios.
- Se validó el equipo realizando varias repeticiones de cada uno de los sustratos antes mencionados, comprobando que la producción de bioelectricidad se llevó a cabo en cada una de las celdas.

RECOMENDACIONES

- Al cortar la tela de fibra de carbono se recomienda colocar pegamento epoxi en las orillas ya que tiende a deshilarse. }
- Se recomienda colocar adhesivo de tela en la fibra de carbono ya que esto facilita de una forma incomparable la colocación de la misma sobre el parafilm.
- Se recomienda el uso de cinta doble faz, para un mejor agarre y sellado del parafilm en el momento de colocarla en la CCMs.
- Es necesario verificar que el anillo superior e inferior donde se sitúa el parafilm no tenga ninguna aspereza, ya que esto provoca que el parafilm se agriete o se rompa lo cual conlleva a que la celda no sea hermética y esto a su vez provoca fugas.
- Para la introducción del ánodo es recomendable colocarlo una vez que el lodo se encuentre en la CCMs, ya que al ser malla de acero inoxidable puede llegar a romper el parafilm y provocar fugas en la celda.
- Se recomienda una vez colocado el lodo y el sustrato cerciorarse que la celda no presente ninguna fuga ya que puede presentar problemas en el momento del monitoreo de la misma.
- Al momento de usar los sujetadores superior e inferior verificar que se coloquen adecuadamente en la tapa y la base respectivamente ya que, al no encontrarse así, se pueden romper o provocar fugas en la CCMs.

GLOSARIO

%.- Porcentaje, xv

CO₂.- Dioxido de carbono, xv

°C.- Grados centígrados, xv

C.- Carbono, xv

C1.- Celda de combustión Microbiana 1 (sustrato acetato), xv

C2.- Celda de combustión Microbiana 2 (sustrato acetato), xv

C3.- Celda de combustin Microbiana 2 (sustrato acetato), xv

C4.- Celda de combustion Microbiana 4 (ssin sustrato), xv

C5.- Celda de combustión Microbiana 5 (sustrato glucosa), xv

C6.- Celda de combustión Microbiana 6 (sustrato glucosa), xv

C7.- Celda de combustión Microbiana 7 (sustrato glucosa), xv

CAD.- Programas asistido por computador, xv

CCMs.- Celda de combustión microbiana, xv

DAQ.- Adquisición de datos, xv

DBO.- Demanda Biológica de Oxígeno, xv

DQO.- Demanda Química de oxígeno, xv

ESPOCH.- Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, xv

GEAA.- Grupo de investigación de Energías Alternativas y Ambiente, xv

H₂O.- Agua, xv

I, xv.- Intensidad de corriente, xv

Kg.- Kilógramos, xv

Km.- Kilómetros, xv

mm.- Milímetros, xv

Msnm.- Metros sobre el nivel del mar, xv

Mv.- Milivoltios, xv

P, xv.- Potencia, xv

pH.- Potencial de Hidrogrno, xv

R.- Resistencia, xv

UTP.-Par trenzado no blindado, xv

BIBLIOGRAFIA

- Ahn, Y., Hatzell, M. C., Zhang, F., & Logan, B. E. (2014). Different electrode configurations to optimize performance of multi-electrode microbial fuel cells for generating power or treating domestic wastewater. *Journal of Power Sources*, 249, 440–445. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.10.081>
- Alzate-Gaviria, L., Fuentes-Albarrán, C., Álvarez-Gallegos, A., & Sebastian, P. J. (2008). Generación de electricidad a partir de una celda de combustible microbiana tipo PEM. *Interciencia*.
- Andrés, G., Gómez, H., Alejandro, M., & Olvera, S. (2017). bacterias electrogénicas, 4–10.
- Baeza de los Santos, F. J., Vilaplana Abad, J. L., Galao Malo, Ó., & Garcés Terradillos, P. (2018). Estudio de la sensibilidad a su propia deformación de escorias de alto horno activadas alcalinamente y reforzadas con fibra de carbono. *Hormigón y Acero*, 69(286), 243–250. <https://doi.org/10.1016/j.hya.2017.04.008>
- Blanco Londoño, S. A., & Rodríguez Chaparro, T. (2013). Producción de biohidrógeno a partir de residuos mediante fermentación oscura: una revisión crítica (1993-2011). *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 20(3), 398–411. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052012000300014>
- Bond, D. R. (2002). Electrode-Reducing Microorganisms That Harvest Energy from Marine Sediments. *Science*, 295(5554), 483–485. <https://doi.org/10.1126/science.1066771>
- Brearley, H. (1948). Propiedades del acero inoxidable. *Propiedades Del Acero Inoxidable*.
- Ciganda, L. M., Quim, I., & Bussi, J. (2004). Electroodos para medir pH. *Electroodos Para Edir PH*.
- Colman, V., Costa, E., Chaves, R., & Tórtora, V. (2015). Roles biológicos del citocromo c : transporte electrónico mitocondrial , muerte celular programada y ganancia de actividad peroxidática, 2(Supl 1), 59–70.

- De Souza, L. M., De Sousa, D. M. G., Dos Reis Júnior, F. B., & De Carvalho Mendes, I. (2015). Carbono da biomassa microbiana em Latossolos determinado por oxidação úmida e combustão a temperatura elevada. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001100009>
- Falcón, A., Lozano, J. E., & Juárez, K. (2009). *Bioelectricidad* (Vol. 13). Retrieved from https://dientesdesable.files.wordpress.com/2017/01/generacion_de_bioelectricidad.pdf
- Fuentes Yagüe, J. L. (1999). La materia orgánica del suelo. *El Suelo y Los Fertilizantes*.
- Hylary, Q. G. (2014). Microbiología: Curva del Crecimiento. Retrieved May 18, 2019, from <http://microbiologia3bequipo5.blogspot.com/2014/10/curva-del-crecimiento.html>
- Juan, L. (2014). Desarrollo De Un Celda De Combustible Microbiana (Ccm) Para Aplicacion En Tratamiento De Aguas Residuales. *Centro de Investigacion y Desarrollo Tecnológico En Electroquímica, S.C.*
- Juszczak, L. J. (1980). Parafilm M. *Newsletter (Western Association for Art Conservation)*.
- Li, F., Sharma, Y., Lei, Y., Li, B., & Zhou, Q. (2010). Microbial Fuel Cells: The Effects of Configurations, Electrolyte Solutions, and Electrode Materials on Power Generation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, *160*(1), 168–181. <https://doi.org/10.1007/s12010-008-8516-5>
- María Estela Raffino. (n.d.). Materia Orgánica: Concepto, Tipos, Características y Ejemplos. Retrieved October 22, 2019, from <https://concepto.de/materia-organica/>
- McKeen, L. W. (2013). *Polyamides Nylons. The Effect of UV Light and Weather on Plastics and Elastomers*. <https://doi.org/10.1016/b978-1-4557-2851-0.00007-4>
- MCs. Lebrão, G. W. (2014). Fibra De Carbono. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Min, B., Kim, J., Oh, S., Regan, J. M., & Logan, B. E. (2005). Electricity generation from swine wastewater using microbial fuel cells, *39*, 4961–4968. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.09.039>

- Mocali¹, S., Fani², R., & Graziani, P. (n.d.). *BIOELECTRICIDAD: RESULTADOS PRELIMINARES DE UN PROYECTO PILOTO EN EL TERRITORIO INDIGENA ACHUAR DEL ECUADOR*. Retrieved from www.microbialfuelcell.org
- Morris, W. J. (1989). Nylon. *Textiles*. <https://doi.org/10.1021/ie50369a009>
- Navarro, A., & Soto, J. (2000). Aguas residuales. *El Abreguense*. <https://doi.org/10.4103/0259-1162.157466>
- Ordorica, M. Á., De, M., & Velázquez, L. (2009). Bioenergética, 1–18.
- Pant, D., Van Bogaert, G., Diels, L., & Vanbroekhoven, K. (2010). A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresource Technology*, *101*(6), 1533–1543. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.017>
- Pascual, R., & Venegas, S. (2010). La materia orgánica del suelo. Papel de los microorganismos. *Ciencias Ambientales*.
- Rabaey, K., Verstraete, W., Bates, T. E., Winter, P., Rajendran, K., Kankanala, H. R., ... Ramírez, A. (2011). Microbial fuel cells: Novel biotechnology for energy generation. *Trends in Biotechnology*, *2*(6), 291–298. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.05.005>
- Revelo, D. M., & Hurtado, N. H. (2013). Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un Reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica Microbial Fuel Cells (MFCs): A Challenge for the Removal of Organic Matter and Electricity Generation, *24*(6), 17–28. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000600004>
- Revelo, D. M., Hurtado, N. H., & Ruiz, J. O. (2013). Celdas de combustible microbianas (CCMs): Un reto para la remoción de materia orgánica y la generación de energía eléctrica. *Informacion Tecnologica*, *24*(6), 17–28. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000600004>
- Rojas, J. (2012). Parametros: Potencial Oxido-Reducción. *Parametros*.
- Sacco, N., Bonetto, M. C., & Cortón, E. (2008). Generación de Electricidad en una Celda de Combustible Microbiana Mediada Utilizando Micro-ánodos Descartables. *Ibersensor*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.07.067>

Sampeiro, J. I., & Mart, A. (2010). *Bioenergia*, 30–39.

Tanisho, S., Kamiya, N., & Wakao, N. (1989). Hydrogen evolution of *Enterobacter aerogenes* depending on culture pH: mechanism of hydrogen evolution from NADH by means of membrane-bound hydrogenase. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 973(1), 1–6. [https://doi.org/10.1016/S0005-2728\(89\)80393-7](https://doi.org/10.1016/S0005-2728(89)80393-7)

Zhang, R., El-mashad, H. M., Hartman, K., Wang, F., Liu, G., Choate, C., & Gamble, P. (2007). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion, 98, 929–935. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.02.039>

