

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica
y Telecomunicaciones**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA GENERACIÓN
ELÉCTRICA BASADO EN CELDAS BIOENERGÉTICAS APLICADO A UNA RED
DE SENSORES.**

Autor:

Kleber Eduardo Allauca Carrillo

Tutor:

Dr. Leonardo Rentería

Riobamba – Ecuador

Año

2021

Los miembros del tribunal de graduación del proyecto de investigación de título: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA BASADO EN CELDAS BIOENERGÉTICAS APLICADO A UNA RED DE SENSORES**, presentado por: **Kleber Eduardo Allauca Carrillo**, dirigida por **Rentería Bustamante Leonardo Fabián, PhD.**

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual consta el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firma.



PhD. Daniel Santillán

Presidente del Tribunal

Firma



Dra. Yesenia Cevallos

Miembro del Tribunal

Firma



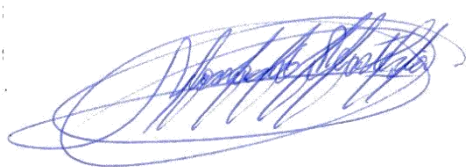
Dr. Luis Tello

Miembro del Tribunal

Firma

En calidad de tutor del tema de investigación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA BASADO EN CELDAS BIOENERGÉTICAS APLICADO A UNA RED DE SENSORES**, realizado por la Sr. **Kever Eduardo Allauca Carrillo**, para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sustentada públicamente y evaluada por el jurado examinador que se designe.

Riobamba, 26 de abril de 2021



PhD. Leonardo Rentería
C.I: 1104064132
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este proyecto de graduación corresponde exclusivamente a **Kleber Eduardo Allauca Carrillo, Leonardo Fabián Rentería Bustamante, PhD.** y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



.....
Kleber Eduardo Allauca Carrillo
C.I. 060411002-3

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por brindarnos su fuerza y apoyo en este camino arduo para cumplir una de las metas de nuestra vida el obtener un título universitario.

A mis queridos padres, quienes tomaron la decisión firme de darme la herencia de un estudio profesional, acompañado de amor, esfuerzo, trabajo y apoyo incondicional.

A mi hermano, hermanas y sobrino, pilares esenciales en el transitar de mi camino y sin ellos tampoco lo hubiera logrado.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, por haberme dado la oportunidad de aprender, obtener los conocimientos los cuales fueron impartidos por los prestigiosos docentes que cuenta la institución.

A Ingeniero Leonardo Rentería quien asesoro esta tesis y constantemente me motivo para realizar un buen trabajo.

A la persona que estaba en mis malos y buenos momentos Jenny gracias por tu paciencia cariño y amor.

Kleber Allauca

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado fuerza y salud para lograr mis objetivos.

A mi amada familia, por ser incondicionales en todo momento y tiempo, quienes me brindaron su amor, esfuerzo, apoyo y palabras de fortaleza en momentos de dificultad.

A mi estimado tutor, PhD. Leonardo Rentería, gracias por creer en mí, por brindarme su orientación, asesoría, apoyo, tiempo y espacio para desarrollar el proyecto de investigación con calidad y eficacia.

INDICE

INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	3
1.2 OBJETIVOS.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO	6
2.1 ESTADO DEL ARTE.....	6
2.2 MARCO TEÓRICO.....	7
2.2.1 BIOENERGÍA	7
2.2.2 BIOENERGÉTICA MICROBIANA	7
2.2.3 LODOS ACTIVADOS	8
2.2.4 CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANO CMM.....	8
2.2.4.1 PARTES DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA	10
2.2.4.1.1 ÁNODO.....	10
2.2.4.1.2 CÁTODO.....	11
2.2.4.1.3 MEMBRANA DE INTERCAMBIO DE PROTONES.....	13
2.2.5 GENERACIÓN DE BIOELECTRICIDAD.....	13
2.2.6 POTENCIAL Y DESEMPEÑO ELÉCTRICO.....	14
2.2.6.1 VOLTAJE	14
2.2.6.2 RESISTENCIA INTERNA.....	15
2.2.6.3 MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE ELECTRONES.....	15
2.2.7 THINGSPEAK.....	16
2.2.8 ARDUINO	16
2.2.8.1 ARDUINO MEGA + WIFI R3	17
2.2.9 SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20.....	17
CAPÍTULO III	19
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	19
3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	19

3.1.1 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	19
3.2 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	19
3.2.1 MÉTODO EXPERIMENTAL	19
3.2.2 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	19
3.2.3 INSTRUMENTOS	19
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	20
3.3.1 POBLACIÓN	20
3.3.2 MUESTRA.....	20
3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	21
3.4.1 VARIABLE DEPENDIENTE	21
3.4.2 VARIABLES DEPENDIENTES	21
3.5 PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS.....	22
CAPÍTULO IV.....	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 CELDA CON SUELO NEGRO	29
4.2 CELDA CON SUELO SALINO	30
4.3 CELDA CON SUELO ARENOSO	31
4.4 CELDA CON SUELO CHIBUNGA.....	32
4.5 SELECCIÓN DE CELDAS.....	32
4.6 DISCUSIÓN	37
4.7 ALIMENTACIÓN DE LA RED DE SENSORES.....	38
CAPÍTULO V	40
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
5.1 CONCLUSIONES	40
5.2 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	41
BIBLIOGRAFÍA	42
6. ANEXOS	45

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Ventajas y aplicaciones de las celdas	10
TABLA 2. Variables, definición, instrumentos.....	21
TABLA 3. Relación entre Variables dependientes e independientes.....	22
TABLA 4. Materiales necesarios para el proyecto de investigación	27
TABLA 5. Variables de la hipótesis.....	33
TABLA 6. Descriptivo de las 12 variables	33
TABLA 7. Prueba ANOVA	34
TABLA 8. Prueba POST HOC (TUKEY).	35

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de una celda de combustible microbiano.....	9
Figura 2. Materiales tradicionales de carbón usados como ánodos en las Celdas. a) Papel de carbón, b) tela, c) malla, d) fieltro, e) placa, e) grafito, g) carbón vitreo y h) brocha. ...	11
Figura 3. Materiales catódicos. (a) Tela de carbón, (b) tela de carbón con platino en una cara, (c) tela de carbón con capa de difusión en una cara, (d) cátodo cuadrado.	12
Figura 4. Membrana de intercambio de protones.	13
Figura 5. Generación de bioelectricidad.....	14
Figura 6. Plataforma ThingSpeak.....	16
Figura 7. Arduino mega, wifi r3.....	17
Figura 8. Sensor de temperatura.....	18
Figura 9. Diagrama de Flujo Fuente: El Autor.....	22
Figura 10. a. Suelo Negro, Chambo (LAT: -1.718460, LONG -78.596468). b. Suelo salino, Guano (-1.639633, -78.608578). Fuente: El Autor.....	23
Figura 11. a. Suelo arenoso, Riobamba, (-1.672242, -78.622408) b. Suelo del Chibunga, (-1.688558, -78.651022).....	23
Figura 12. Desechos en los mercados de la ciudad de Riobamba.	24
Figura 13. Electrodo con carbono Activado.	24
Figura 14. a. Implementación de la celda b. Estructura de las celdas	25
Figura 15. Voltaje de la celda medida con el multímetro.....	26
Figura 16. Sistema electrónico de monitoreo de las celdas bioenergéticas.....	26
Figura 17. Regado de celdas.....	27
Figura 18. Monitoreo remoto en tiempo real de las celdas bioenergéticas.	27
Figura 19. Voltaje generado por la celda de suelo negro con electrodos de cobre, aluminio y acero.....	29
Figura 20. Voltaje generado por la celda de suelo salino con electrodos de cobre, aluminio y acero.....	30
Figura 21. Voltaje generado por la celda de suelo arenoso con electrodos de cobre, aluminio y acero.	31
Figura 22. Voltaje generado por la celda de suelo del río Chibunga con electrodos de cobre, aluminio y acero.	32
Figura 23. Graficas de medias del voltaje generado por todas las celdas.	36
Figura 24. Diagrama de cajas de las medias de voltaje generado por las celdas.	37

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue diseñar y construir celdas bioenergéticas utilizando materia orgánica mezclada con diferentes tipos de suelo como el negro, salino, arenoso y de las orillas del río Chibunga de la ciudad de Riobamba para generar energía y alimentar una red de sensores. Para la construcción de las celdas se utilizó envases plásticos y metales de cobre, acero inoxidable y aluminio recubierto para los electrodos, además de carbón activado granular previamente triturado con NPK (abono químico) para mejorar la generación de energía. Se construyeron 12 celdas con los diferentes tipos de suelo y de metales para los electrodos; las celdas fueron monitoreadas en tiempo real durante siete días y se midieron los voltajes generados cada 10 minutos. Como resultado, se determinó que la celda construida con suelo negro y electrodo de acero fue la más eficiente, la misma que se replicó para utilizarla como alimentador de una red de sensores.

Palabras clave: electrodos, bioelectricidad, carbón activado, celdas bioenergéticas.

ABSTRACT

The objective of this research was to design and construct bioenergy cells using organic matter mixed with different types of soil such as black, saline, sandy and from the banks of the Chibunga River in the city of Riobamba to generate energy and feed a network of sensors. For the construction of the cells, plastic containers and copper, stainless steel and coated aluminum metals were used for the electrodes, in addition to granular activated carbon previously crushed with NPK (chemical fertilizer) to improve the generation of energy. Twelve cells were constructed with the different types of soil and metals for the electrodes; the cells were monitored in real time for seven days and the voltages generated were measured every 10 minutes. As a result, it was determined that the cell constructed with black soil and steel electrode was the most efficient, which was replicated for use as a feeder for a sensor network.

Key words: electrodes, bioelectricity, activated carbon, bioenergetic cells.

Reviewed by:

Dr. Narcisa Fuertes, PhD.

ENGLISH PROFESSOR

Cc: 1002091161

INTRODUCCIÓN

El petróleo se ha constituido como una de las principales fuentes de energía, ya sea como combustible doméstico e industrial, como carburante y lubricante o como materia prima básica en la industria petroquímica; sin embargo, es una de las más grandes fuentes de contaminación ambiental. La contaminación por petróleo se produce por su liberación accidental o intencionada en el ambiente, provocando efectos adversos sobre el hombre o sobre el medio, directa o indirectamente. La contaminación involucra todas las operaciones relacionadas con la explotación y transporte de hidrocarburos, que conducen inevitablemente al deterioro gradual del ambiente; afecta en forma directa al suelo, agua, aire, a la fauna y a la flora. Además, los métodos vigentes para obtener energía no brindan un resultado eficiente para las actuales condiciones mundiales. Existen numerosos problemas de carácter medioambiental, sanitario y económico ligados a la producción energética nuclear y de combustión de hidrocarburos (Griffiths Spielman, 2011).

Por otro lado, las energías renovables son fuentes de energía limpia, inagotable y crecientemente competitiva. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, ni emisiones contaminantes. El crecimiento de las energías renovables es imparable; según las previsiones de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), la participación de las energías renovables en el suministro eléctrico global pasará del 26% en 2018 al 44% en 2040, y proporcionarán 2/3 del incremento de demanda eléctrica registrado en ese período, principalmente a través de las tecnologías eólica y fotovoltaica (Hormaeche, 2008). En el Ecuador, las hidroeléctricas aportan en un 49,72% al Sistema Nacional Interconectado, mientras que la producción de energía eólica lleva siete años de operación comercial aportando con 525.849,50 megavatios hora (MWh) de energía. Esto representa la disminución en la emisión de 337.647,96 toneladas de CO₂ al ambiente (ARCONEL, 2019).

En la actualidad, los avances tecnológicos han permitido el surgimiento de nuevas formas de obtener energía, entre las cuales se pueden destacar las celdas bioenergéticas. Las celdas bioeléctricas permiten generar energía mediante la reacción electroquímica del oxígeno con un combustible (CÁCERES, 2018). Este proceso es posible ya que algunos microorganismos transfieren los electrones que producen en su actividad metabólica a un electrodo. Las celdas de combustible microbianas poseen muchas ventajas, entre ellas, su

alta eficiencia de conversión de sustrato y su capacidad de operar a temperatura ambiente, lo que permite una producción energética económica y sostenible. Además, no necesitan tratamiento de gases de salida ni aireación y son potencialmente aplicables en zonas rurales (Revelo, 2013).

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad el diseño, construcción y análisis de celdas bioenergéticas utilizando materiales reciclados, diferentes tipos de suelo y metales para los electrodos.

En la primera fase se analiza las diferentes técnicas de diseño y construcción de las celdas bioenergéticas con el objetivo de seleccionar la más adecuada de acuerdo al tipo de suelo. En la segunda fase, se procede a la construcción de las celdas bioenergéticas aplicando las técnicas analizadas y seleccionadas anteriormente. Los materiales a utilizar son reciclados como por ejemplo recipientes de pintura de 1 galón para almacenar los diferentes tipos de suelo junto con desechos orgánicos mezclados previamente. Para la construcción de los electrodos se utiliza una malla de cobre, acero inoxidable y aluminio, recubierta de carbón activado granular triturado. Además, se aplica una solución BPK (abono químico) para mejorar en el proceso de generación energética.

En la tercera fase, se evalúa la capacidad y el rendimiento energético de las celdas. Se lleva a cabo el proceso de medición durante los primeros 7 días y con los resultados obtenidos se procede a seleccionar las mejores celdas bioenergéticas. Finalmente, las celdas seleccionadas se replican y se interconectan en serie y en paralelo para alimentar una red de sensores de temperatura instalados en un pequeño invernadero.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

La contaminación del medio ambiente es la introducción de agentes sólidos, líquidos y gaseosos sobre el entorno y sus recursos naturales, es decir, cualquier incorporación de agente físico, químico y biológico que impactan sobre el ambiente, la salud y calidad de vida de la población. Las causas principales de la contaminación ambiental son sin duda las actividades desarrolladas por el hombre tales como: generación de residuos y desechos sólidos domésticos e industriales, la quema y tala de árboles, basura, emisión de monóxido de carbono, entre otras (Peralta Cisneros, 2018). Así pues, todos los ciudadanos y sociedades deben asumir ahora mismo un cambio de conducta favorable para detener este problema causado por el mismo hombre. Entre las medidas esenciales para mitigar el problema de la contaminación se tienen: prescindir de productos que contengan agentes contaminantes, evitar talar y quemar árboles, no arrojar basura, controlar el uso de productos no biodegradables, ahorrar agua y energía, reciclar, disminuir el uso del vehículo y utilizar fuentes de generación de energía renovable como por ejemplo solar, fotovoltaica-térmica, eólica, hidráulica, biomasa, entre otras. La energía a través de la biomasa es básicamente utilizar la materia orgánica como fuente energética. Esta materia orgánica puede ser desde desechos de agricultura (huesos de aceituna, cáscaras de frutos secos) a restos de madera, como pellets o serrín (CÁCERES, 2018)

Por otro lado, en el Ecuador, la generación de residuos sólidos de carácter orgánico representa un problema social, ambiental y económico debido al mal manejo de los mismos (Griffiths Spielman, 2011). Generalmente, los desechos orgánicos provenientes de frutas, legumbres y restos de alimentos son depositados en las afueras de los mercados debido a que no existe un contenedor apropiado, provocando de esta manera la proliferación de roedores, insectos y otros organismos portadores de enfermedades como leptospirosis, toxoplasmosis, hantavirus, peste bubónica, fiebre por mordedura de ratas, tifus, parásitos internos y externos (Ramírez, 2018). Particularmente, en los mercados de la ciudad de Riobamba se recogen alrededor de 150 toneladas de basura mensualmente que es depositada en el relleno sanitario, donde no existe un debido tratamiento para la misma (Energéticos, 2018).

En relación a la problemática expuesta, en este proyecto se propone diseñar y construir celdas bioenergéticas como una alternativa para la generación de energía limpia, amigable con el medio ambiente y de muy bajo costo utilizando desechos orgánicos provenientes de los mercados de la ciudad de Riobamba, para mitigar los efectos de la contaminación provocada por el mal tratamiento los mismos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Diseñar e implementar un sistema para la generación eléctrica basado en celdas bioenergéticas para alimentar una red sensores.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las diferentes técnicas de diseño, construcción y evaluación de celdas bioenergéticas para la producción de energía renovable.
- Construir celdas bioenergéticas para la producción de energía utilizando diferentes tipos de suelo, desechos orgánicos sólidos y desechos líquidos como elementos generadores de bioelectricidad.
- Evaluar la capacidad o eficiencia energética de las celdas bioenergéticas utilizándolas en una red de sensores.

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

2.1 ESTADO DEL ARTE

Venimos de experiencias pasadas donde la explotación de recursos no renovables y contaminantes era nuestro fundamento energético; sin embargo, se han planteado alternativas eco amigables para la generación de energía con la intención de disminuir el efecto ambiental (Energéticos, 2018), no obstante, el impacto de estas energías renovables en nuestro medio ambiente apenas comienza a sentirse. Entre los principales combustibles estudiados como energías alternativas se encuentran aquellos basados en la biomasa, opción más lógica para el desarrollo sostenible en el contexto de las consideraciones económicas y ambientales. Las alternativas biológicas con características de renovables se encuentran disponibles a nivel mundial en los residuos de biomasa o en aquellos desechos que terminan transformados en biocombustibles; sin embargo, los costos de su aplicación son aun relativamente altos haciendo que el proceso comercial sea menos rentable para la industria (Revelo, 2013).

En este sentido, existen múltiples trabajos de investigación publicados al respecto, son muy recientes y cada uno de estos genera un aporte al desarrollo de esta tecnología (Peralta Cisneros, 2018). En un estudio realizado por la Universidad Agraria del Ecuador de la ciudad de Guayaquil, se construyeron celdas de combustible microbianas con depuración simultánea de agua residual de la industria pesquera ESCUALEM S.A, de una y de doble cámara; utilizaron envases plásticos y una malla de acero inoxidable recubierto de carbón activado granular para los electrodos. Monitorearon la turbidez y sólidos totales como indicadores de contaminación del agua residual y el voltaje para demostrar la generación de bioelectricidad. Las celdas de una cámara presentaron un mejor resultado en cuanto generación de voltaje y remoción de contaminantes, alcanzando un valor máximo de 222 mV y un porcentaje de remoción de turbidez de 74%, mientras que en el tratamiento con celdas de doble cámara se generaron 88mV, con un porcentaje de remoción de turbidez del 48%.

La Universidad Cayetano Heredia de Lima Perú llevó a cabo el estudio para la producción de electricidad en celdas de combustible microbianas (CCMs) a partir de tiosulfato utilizando cepas de *acidithiobacillus ferrooxidans*. Se emplearon 2 cultivos de *At. ferrooxidans* cepa LB102 y LB151. Como resultado, obtuvieron una densidad de potencia promedio 2.34mW/m y 3.02mW/m (Cáceres, 2018).

En los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, los investigadores construyeron una celda de combustible microbiana a escala de laboratorio haciendo uso de aguas residuales sintéticas (ARS) y orgánicas (ARO), así como consorcios bacterianos para generar electricidad. La celda fue construida con polímeros de polipirrol y polianilina que fueron depositados sobre electrodos contruidos de grafito provenientes de pilas recicladas y escobillas de carbono; evaluaron el efecto en la degradación de materia orgánica y producción de electricidad. Obtuvieron voltajes entre 327 y 359 mV durante los 5 días de tratamiento (Ortiz, 2019).

En otro estudio de la Universidad de Castilla de Ciudad Real, se realizó la optimización y diseño de celdas de combustible microbianas de doble comportamiento alimentadas con Biomasa Algal, se aplicó dos diferentes configuraciones de membranas, caucho y nitrilo, insertando un electrodo de plata, en conjunto con ARS en una proporción de 40 mL. La celda operó con flujo tipo continuo y Batch. Obtuvieron los mejores resultados con membrana tipo Nitrilo con valores de potencia de $2.05E-01\text{mW/m}^2$ y $1.16E-02\text{mW/m}^2$ para el tipo de flujo continuo (Ramírez, 2018).

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 BIOENERGÍA

Se conoce como aquella energía que se produce mediante la interacción de la biomasa; es decir materia viva en ciertos procesos y de diferente forma. Se encuentra catalogada en tres grandes grupos: biocombustibles, biocarburantes y biogás (Vargas Corredor & Pérez, 2018).

La producción de biocombustibles ha sido tendencia en los últimos años y se ha fundamentado en la generación directa de energía mediante procesos biológicos naturales o a su vez en el uso de combustibles alternativos que sean amigables con el ambiente. En la actualidad, se convierten sustratos orgánicos en electrones exocelulares y protones, los cuales pueden ser recuperados de forma directa para producir energía eléctrica; además de agua y dióxido de carbono (Guambo Galazar & Allauca Caisaguano, 2015)

2.2.2 BIOENERGÉTICA MICROBIANA

Se trata de la generación de energía mediante la interacción química que se produce en la secuencia biológica de organismos vivos (ENDESA, 2020). Los microorganismos

más utilizados en los procesos de generación de energía eléctrica son las llamadas “bacterias electrogénicas” que suelen encontrarse en ambientes anaerobios como sedimentos de lagos o ríos; entre ellas destacan las del género *Geobacter* que son capaces de respirar minerales del subsuelo terrestre (Peralta Cisneros, 2018).

La aceptación de la existencia de microorganismos electro activos, capaces de donar o aceptar electrones de elementos conductores a través de unas proteínas denominadas citocromos C, sugirió explorar nuevas reacciones entre las bacterias y su entorno más próximo, dando lugar a un concepto fascinante como la transferencia directa de electrones (Peralta Cisneros, 2018).

2.2.3 LODOS ACTIVADOS

Se conoce como lodos activados o bioproceso, al proceso biológico que permite el desarrollo de una depuración de origen natural en la que los microorganismos son capaces de devolver (depurar) el agua contaminada a su estado natural. Estos procesos anaeróbicos se producen a través de lo que se conoce como tratamiento o proceso aerobio por medio de la aireación prolongada y la recirculación de fangos activos que elimina las sustancias biodegradables que están disueltas en el agua residual (S.A.S., 2016).

2.2.4 CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANO CMM

Una celda de combustible microbiano (CCM) está constituida por componentes básicos como el ánodo, el cátodo, el separador (membrana) y los circuitos externos, figura 1. De acuerdo con su aplicación, se han desarrollado diferentes configuraciones de las CCMs; sin embargo, su principio básico se mantiene igual (Guambo Galazar & Allauca Caisaguano, 2015).

El funcionamiento de una CCM depende de múltiples factores tales como: la fuente de combustible del sustrato, temperatura, la especie de microorganismo o de comunidad usada, así como los materiales del ánodo, cátodo y del separador (Dumitri & Scott, 2016). Los parámetros principales que influyen en el funcionamiento de las CCMs son el diseño geométrico, sus dimensiones, la posición del electrodo con respecto a la membrana y el arreglo del afluente y efluente para una correcta distribución del sustrato hacia la cámara anódica (Ortiz, 2019).

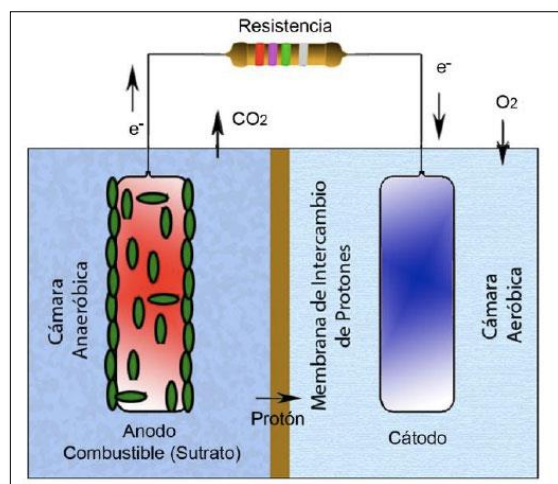


Figura 1. Estructura de una celda de combustible microbiano.

Fuente: Autor

Los factores físicos y químicos, los materiales del electrodo y del catalizador, la membrana o separados, temperatura, pH, conductividad y la concentración del sustrato, son cruciales en la optimización de la celda y permiten alcanzar una eficiencia económica y sustentable, tanto en remoción de contaminantes como en generación de energía (Ramírez, 2018).

En una celda de combustible microbiano los microorganismos en estado planctónico o formando un biofilm oxidan los sustratos desde la cámara anódica y como resultado se producen electrones, protones y otros metabolitos. Los electrones liberados por los microorganismos son recolectados por el ánodo, pasan hacia el cátodo a través de una resistencia o carga externa, y de esta forma, el flujo de electrones es aprovechado para generar energía eléctrica (Peralta Cisneros, 2018).

En la tabla 1 se resumen las principales aplicaciones de las celdas de combustión microbianas y sus características.

TABLA 1. Aplicaciones de las celdas microbianas

Tipo	Características
Tratamiento de aguas residuales	Elimina el consumo de energía para el sistema de aireación Produce entre un 10-20% más de energía, aprovechable en otros procesos Baja producción de biomasa (reducción del 50 al 70%) Disminución de los costos de operación (20-30%) Producción de productos con valor agregado
Biosensores	Detectan compuestos químicos como glucosa y acetato Modelan respuestas de ecosistemas Detección de compuestos tóxicos
Biorremediación	Degradación de contaminantes orgánicos Reducción de productos químicos inorgánicos
Generación de electricidad	Obtención de energía a partir de compuestos orgánicos fermentables y no fermentables Almacenamiento de energía en dispositivos recargables Producción de energía para pequeños sistemas de telemetría y sensores inalámbricos

Fuente: (Peralta Cisneros, 2018)

2.2.4.1 PARTES DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA

2.2.4.1.1 ÁNODO

El material anódico tiene un gran impacto en cuanto a generación de energía. Su composición, morfología y la superficie de los materiales juegan un papel importante en el funcionamiento de una CCM, tiene influencia en la fijación bacteriana, en la transferencia de electrones y en la oxidación del sustrato, dando lugar a la formación y crecimiento de la Biopelícula que es esencial en la generación de energía. Entre los materiales que se utilizan con mayor frecuencia para la construcción de los electrodos denominados anódicos se pueden nombrar: el grafito, papel carbón, tela y malla de carbono y el carbón, en menor porcentaje se usa material como platino, oro y acero inoxidable (Peralta Cisneros, 2018).

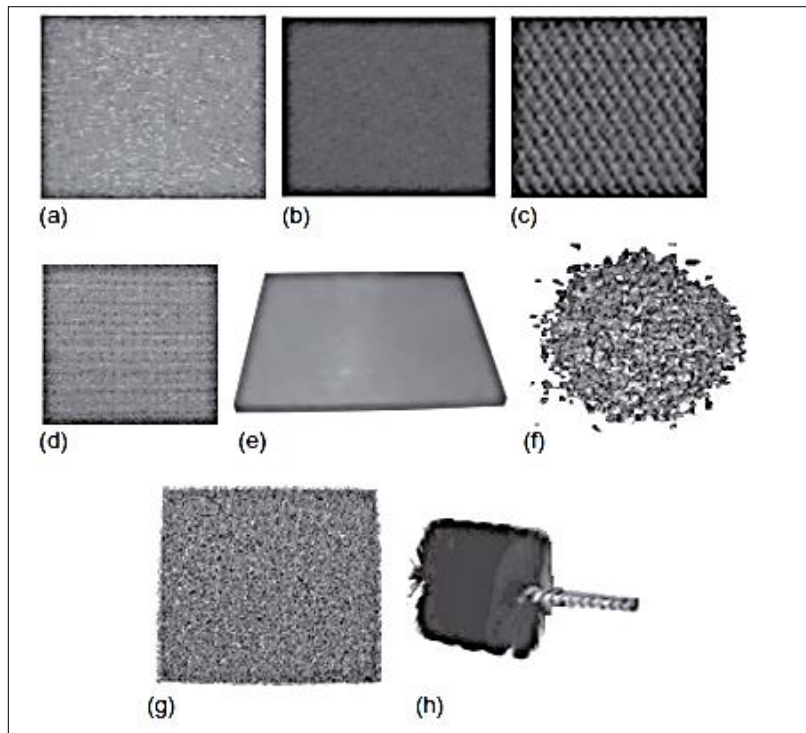


Figura 2. *Materiales tradicionales de carbón usados como ánodos en las Celdas. a) Papel de carbón, b) tela, c) malla, d) fieltro, e) placa, e) grafito, g) carbón vítreo y h) brocha.*

Fuente: (Dumitri & Scott, 2016)

En la figura 2, se pueden observar los materiales a base de carbón que son utilizados como ánodos en las celdas, su uso depende de sus características y la funcionalidad en los diferentes procesos o métodos.

Para la aplicación práctica de las CCMs, el material anódico ideal debe tener una alta conductividad eléctrica, buena biocompatibilidad, resistencia a la corrosión, dureza mecánica, alta porosidad, mayor superficie específica, alta estabilidad física y química de los electrodos, bajo coste y facilidad de construcción a distintos tamaños. Del mismo modo, las bacterias deben ser capaces de unirse al material y alcanzar conexiones eléctricas favorables (Dumitri & Scott, 2016).

2.2.4.1.2 CÁTODO

El oxígeno gracias a su alto potencial de oxidación, sustentabilidad, disponibilidad y bajo coste, es considerado el aceptor de electrones más adecuado para una CCM. El cátodo es el sitio en donde se lleva a cabo la reducción de oxígeno y se consumen los electrones y protones generados durante el metabolismo del sustrato que tiene lugar en la cámara anódica. Las reacciones químicas que se producen en el cátodo son difíciles de

simular, ya que los electrones, protones y el oxígeno deben unificarse al catalizador al mismo tiempo en una reacción de triple-fase (catalizador sólido, aire y agua). El buen funcionamiento de una CCM depende en gran parte de la eficiencia del cátodo (Dumitri & Scott, 2016).

Los materiales utilizados para la elaboración del cátodo son el grafito, fieltro de carbono, tela de carbono y papel de carbono. Cada tipo de material genera pérdidas, las más significativas para el desempeño global de la celda, son las pérdidas debidas a la polarización por activación. Al utilizar estos materiales como cátodos, es necesario implementar un catalizador con el fin de incrementar la velocidad de reducción de oxígeno. Entre los catalizadores más comunes tenemos: el platino, hierro, metales no preciosos y compuestos metalicorgánicos. Asimismo, el carbón activado es considerado un material prometedor puesto que otorga superficies específicas mayores que los gránulos de grafito. Para que un catalizador sea eficaz se requiere que tenga la capacidad de otorgar una alta actividad intrínseca catalítica, ser durable a largo plazo, tener una buena conductividad eléctrica en el electro catálisis, bajo costo, abundante y que se pueda sintetizar de forma fácil a gran escala. El uso de biocátodos suprimiría la necesidad de usar metales preciosos como catalizadores (Dumitri & Scott, 2016).

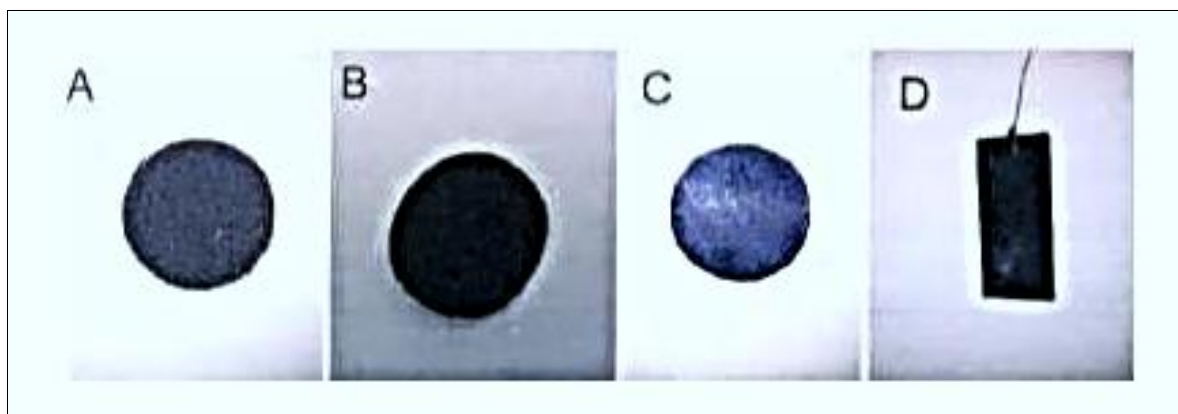


Figura 3. *Materiales catódicos. (a) Tela de carbón, (b) tela de carbón con platino en una cara, (c) tela de carbón con capa de difusión en una cara, (d) cátodo cuadrado.*

Fuente: (Logan, 2009)

La tela de carbón es la más utilizada debido a su capacidad para filtrar olores, figura 3 (a), una de sus características es que tiene platino en una de sus caras, figura 3 (b). Los materiales con platino presentan una mayor actividad catalítica y permiten obtener mayor densidad de corriente, pero sus costos son muy elevados (Logan, 2009).

2.2.4.1.3 MEMBRANA DE INTERCAMBIO DE PROTONES

La responsable del proceso de separación química entre el ánodo y cátodo es membrana, figura 4. Los dos parámetros principales que determinan el comportamiento de un material de separación son la porosidad y la capacidad de intercambio iónico. Los separadores usados en las CCMs son generalmente clasificados en dos tipos, permeables y semi permeables (CÁCERES, 2018).

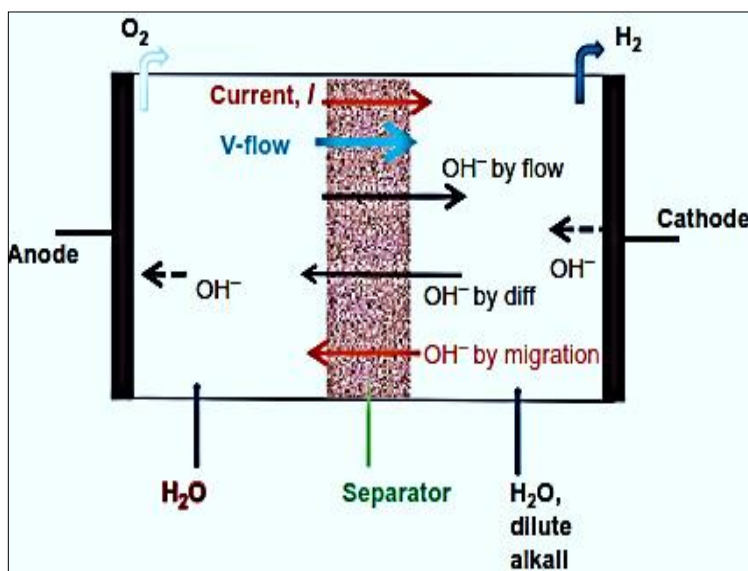


Figura 4. Membrana de intercambio de protones.

Fuente: (Dumitri & Scott, 2016)

La función de la membrana de una CCM es la de separar las reacciones del ánodo y del cátodo y prevenir el transporte de oxígeno disuelto o ferrocianuro a la cámara anódica. Las membranas necesitan ser permeables con el fin de que los protones producidos en el ánodo puedan migrar hacia el cátodo. Para el tratamiento de agua residual, los requisitos más importantes son mantener los costos bajos, la durabilidad y resistencia (Vargas Corredor & Pérez, 2018).

2.2.5 GENERACIÓN DE BIOELECTRICIDAD

Las CCMs representan un nuevo enfoque en cuanto a generación de bioelectricidad a partir de biomasa usando bacterias. Los microorganismos oxidan la materia orgánica produciendo electrones que pasan a través de una serie de enzimas respiratorias en la célula

y producen energía para la misma. A continuación, los electrones son liberados hacia el aceptor terminal de electrones (ATE), el cual los acepta para luego reducirlos (Logan, 2009). En la figura 5 podemos apreciar la descripción de las cámaras anódicas y catódicas que se encuentran separadas por una membrana. El crecimiento bacteriano en el ánodo oxida la materia orgánica liberando electrones al ánodo y protones a la solución. Se provee de aire al cátodo para producir oxígeno disuelto para las reacciones de los electrones, protones y oxígeno en el cátodo, completando el circuito y generando así energía.

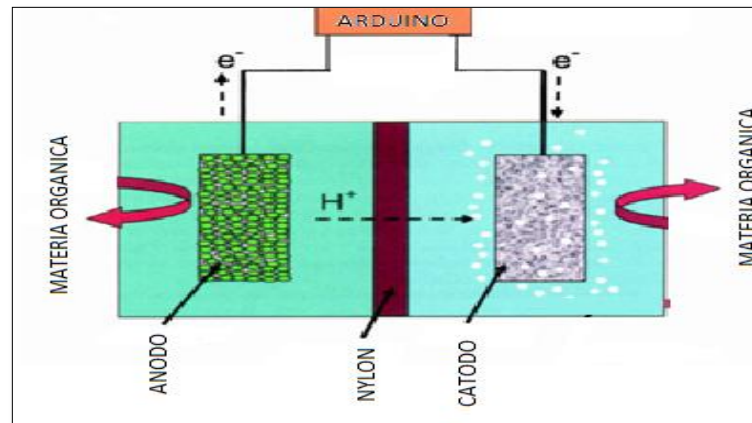


Figura 5. Cámaras anódica y catódica

Fuente: El Autor

2.2.6 POTENCIAL Y DESEMPEÑO ELÉCTRICO

El potencial eléctrico de una CCM depende de factores como el diseño, los materiales de los electrodos, el cultivo bacteriano, tipo de membrana y las condiciones de operación. Por otro lado, el desempeño eléctrico es estudiado a partir de mediciones de voltaje en la resistencia externa conectada entre el ánodo y cátodo. Para ello, se analizan parámetros de eficiencia coulombica, densidad de potencia, la eficiencia y la resistencia interna.

2.2.6.1 VOLTAJE

El voltaje es una función de la resistencia interna (o la carga en el circuito) y la corriente. En una CCM, la colonización del electrodo y la producción de enzimas o estructuras necesarias para la transferencia de electrones fuera de la célula es un proceso que les toma tiempo a las bacterias (Peralta Cisneros, 2018).

La representación matemática del voltaje es la siguiente:

$$V = I * R_{ext} \quad (\text{EC. 1})$$

dónde:

V= Voltaje

I = corriente

R_{ext} = Resistencia externa.

2.2.6.2 RESISTENCIA INTERNA

Es uno de los parámetros principales al momento de caracterizar un generador de corriente. Este parámetro se obtiene de los resultados de polarización obtenidos de las mediciones de resistencia interna, o también mediante espectrometría de impedancias, en el cual se aplica una señal pequeña de voltaje a la celda electroquímica y posteriormente se mide la corriente a través de ella (Revelo, 2013).

2.2.6.3 MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE ELECTRONES

Para la degradación de la materia orgánica a compuestos como H₂O y CO₂ y por ende la liberación de electrones al sistema, son necesarias condiciones anaerobias. Estas condiciones permiten que los electrones que se generan en la cadena respiratoria puedan llegar desde el interior de los microorganismos hasta la superficie del ánodo. A través de la oxidación de compuestos orgánicos, los microorganismos obtienen la energía necesaria para sus funciones metabólicas; al oxidarse el sustrato, los electrones liberados son transferidos al aceptor terminal de electrones (cadena respiratoria). La diferencia de potencial entre el donador y el aceptor de electrones está relacionada con la cantidad de energía que generan los microorganismos (Peralta Cisneros, 2018).

Dado que los electrodos son entidades sólidas que no son capaces de penetrar a los microorganismos, los electrones salen del mismo mediante el sistema de transporte de enzimas de su membrana o en forma de compuestos reducidos. La transferencia de los electrones fuera de la célula trae como resultado una reacción redox activa, la cual vincula electrónicamente la célula bacteriana con los electrodos (Ramírez, 2018).

2.2.7 THINGSPEAK

ThingSpeak es un servicio de plataforma en la nube Open Source de análisis de IoT que permite agregar, visualizar y analizar flujos de datos en tiempo real (ThingSpeak, 2019).

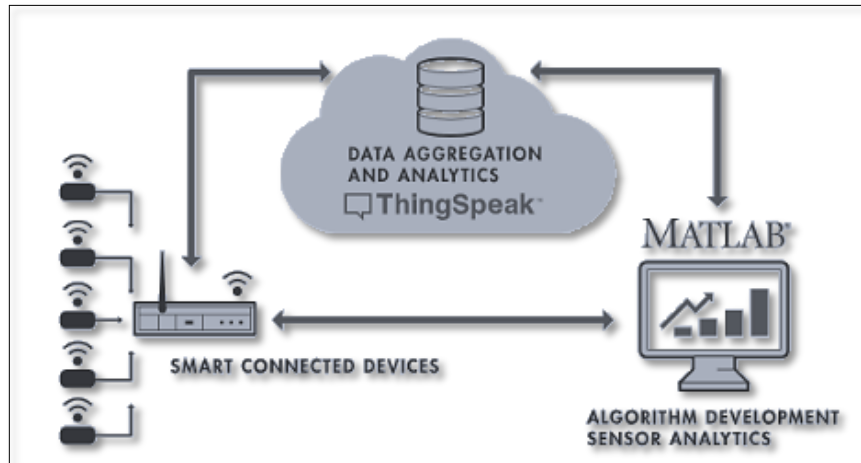


Figura 6. Plataforma ThingSpeak.

Fuente: (ThingSpeak, 2019)

La estructura de Thingspeak se basa en canales, figura 6. Un canal es a donde se envían los datos para ser almacenados. Cada canal incluye 8 campos para cualquier tipo de datos, 3 campos de ubicación y 1 campo de estado. Los canales pueden ser públicos o privados. Dentro de cada canal se pueden añadir visualizaciones o Widgets, además de importar o exportar los datos.

2.2.8 ARDUINO

Se define como una plataforma de prototipos electrónica de código abierto basada en hardware y software flexibles y sencillos de usar. Es una herramienta fácil para la creación rápida de prototipos, dirigida a estudiantes sin experiencia en electrónica y programación (ssdielect, 2020). Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida: activar un motor, encender un LED, publicar algo en línea, entre otros.

2.2.8.1 ARDUINO MEGA + WIFI R3

Se trata de una versión personalizada basada en la placa clásica ARDUINO MEGA que integra el microcontrolador ATmega2560 de Atmel y el chip WiFi ESP8266 con memoria flash de 8 MB, figura 7. Cada procesador tiene sus propios encabezados de pines. La placa también tiene incluido un convertidor USB-TTL basado en CH340G (ssdielect, 2020).

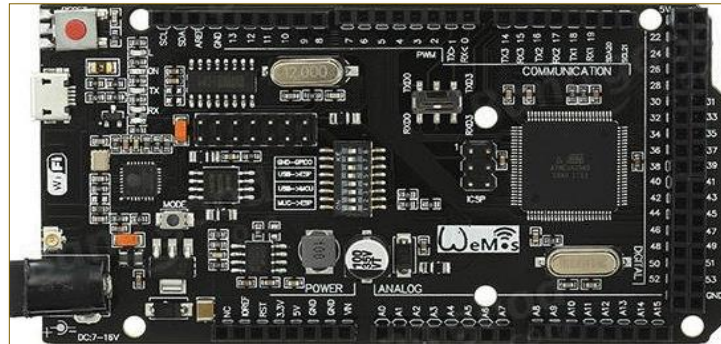


Figura 7. Arduino mega, wifi r3

Fuente: (ssdielect, 2020)

2.2.9 SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20

Se trata de un dispositivo que se comunica con un microcontrolador o microprocesador de forma digital usando el protocolo I²C, figura 8. Cuenta con tres terminales Vcc, GND y Data. Las características más importantes de este sensor son:

- Resolución de 9 y 12 bits.
- Rango de operación de -50 a 125 grados centígrados.
- Precisión ± 0.5 grados.
- Protocolo OneWire.

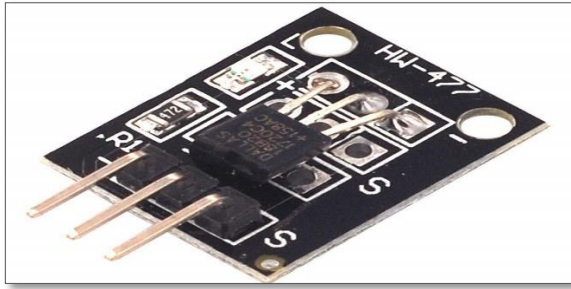


Figura 8. Sensor de temperatura.

Fuente: (ssdielect, 2020)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

La presente investigación es considerada experimental debido a que se van a manipular una serie de variables en un escenario controlado para estudiar el fenómeno de generación energía microbiana.

3.2 MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 MÉTODO EXPERIMENTAL

En este trabajo de investigación se aplicará el método experimental que implica observación, manipulación, registro de las variables.

3.2.2 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica de observación se fundamenta en un conjunto de normas encaminadas a evaluar un fenómeno en particular para saber la realidad de dicho fenómeno, para analizar con precisión y de forma sistemática cualquier situación que ocurra con respecto a los objetivos planteados en la investigación. En este proyecto el parámetro a considerar es el voltaje que genera cada una de las celdas durante los 7 días.

3.2.3 INSTRUMENTOS

Los instrumentos para la implementación del presente documento son los siguientes:

- Artículos científicos relacionados con la generación de energía ecológica.
- Artículos científicos experimentales de las celdas bioenergéticas.
- Herramientas de hardware para medición y envío de datos y de software para el análisis de los mismos.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 POBLACIÓN

La población fue determinada por el voltaje generado por cada una de las celdas. Se midieron 6 valores cada hora durante 7 días, con un tamaño poblacional total de 1008 valores de voltaje para los distintos tipos de tierras y materiales conductores de los electrodos.

3.3.2 MUESTRA

Para la obtención de la muestra se aplicó la fórmula para una población finita (eumed, 2012) como se muestra a continuación:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad \text{EC. (2)}$$

$$Z = 2.576$$

$$p = 0.5.$$

$$q = 0.5$$

$$d = 0.05$$

$$N = 6 \text{ datos por hora} * 24 \text{ horas} * 7 \text{ dias}$$

$$N = 144 * 7$$

$$N = 1008 \text{ datos}$$

$$n = \frac{1008 * 1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{0.05^2 * (1008 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}$$

$$n = \frac{3.872,3328 * 0,25}{2.5175 + 0,9604}$$

$$n = \frac{968.0832}{3.4779}$$

$$n = 278,35$$

$$n=279$$

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.4.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Voltaje

3.4.2 VARIABLES DEPENDIENTES

Tipo de suelo

Material de los electrodos

TABLA 2. Variables, definición, instrumentos.

Variables	Definición	Instrumento y/o Indicadores
Voltaje	El voltaje es la magnitud que da cuenta de la diferencia en el potencial eléctrico entre dos puntos determinados. También se lo denomina como diferencia de potencial o tensión eléctrica; siendo el trabajo unitario de su CE ejercida sobre el campo eléctrico de una partícula, mediante la cual puede lograr el movimiento de un punto hacia otro.	Multímetro. Sensores Arduino.
Tipo de suelo	El suelo es la porción más superficial de la corteza terrestre, constituida en su mayoría por residuos de roca provenientes de procesos erosivos y otras alteraciones físicas y químicas, así como de materia orgánica fruto de la actividad biológica que se desarrolla en la superficie.	Suelo negro Suelo salino Suelos arenosos Temperatura Cantidad en gramos
Electrodos.	Los electrodos son dispositivos conductores en contacto con un medio, al que lleva o del que recibe una corriente eléctrica.	Multímetro Materiales: cobre, hierro, aluminio.

Fuente: El Autor

TABLA 3. Relación entre Variables dependientes e independientes.

Variables dependientes	Variables independientes
Voltaje	Tipo de suelo
Voltaje	Electrodos

Fuente: El Autor

3.5 PROCEDIMIENTO Y ANÁLISIS

En esta investigación, se llevó a cabo el diseño y construcción de celdas bioenergéticas para producir energía limpia y de muy bajo costo.

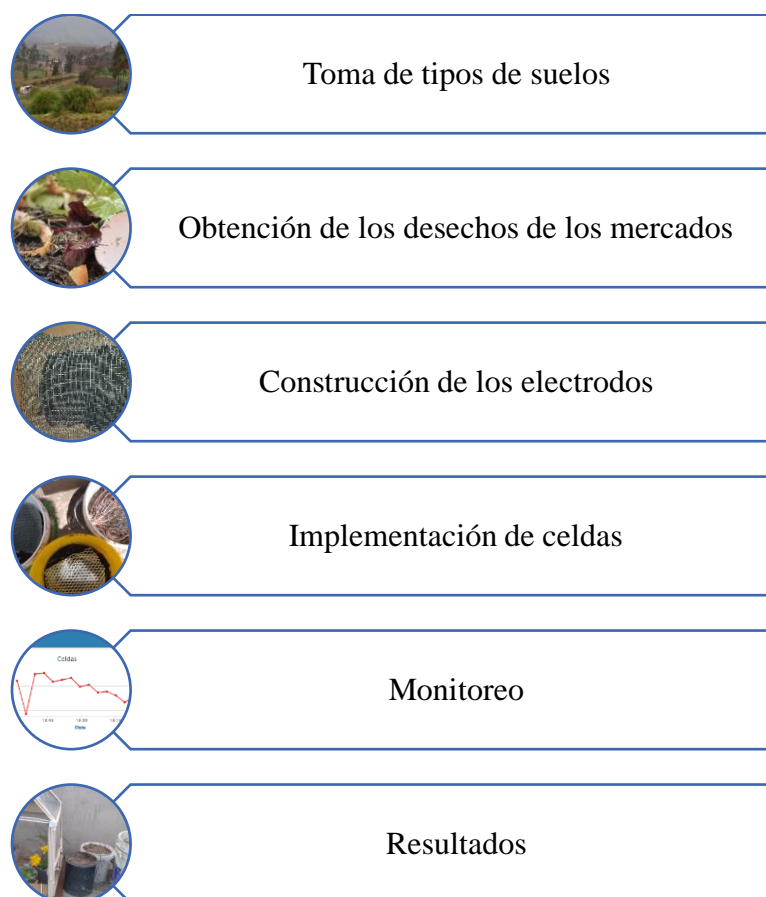


Figura 9. Diagrama de Flujo

Fuente: El Autor

La figura 9 muestra el diagrama de flujo correspondiente al desarrollo de este proyecto. Para empezar, se precedió con la recolección de las muestras de suelo de los diferentes cantones de la provincia de Chimborazo. El suelo negro se adquirió del cantón

Chambo, el suelo salino se obtuvo en el cantón Guano, el suelo arenoso del cantón Riobamba y el suelo del río Chibunga a orillas del mismo, figuras 10 y 11.



Figura 10. a. Suelo Negro, Chambo (-1.718460, -78.596468). b. Suelo salino, Guano (-1.639633, -78.608578).

Fuente: El Autor



Figura 11. a. Suelo arenoso, Riobamba, (-1.672242, -78.622408) b. Suelo del Chibunga, (-1.688558, -78.651022).

Fuente: El Autor

Posteriormente, la materia orgánica (residuos de hortalizas, cáscaras de papas, hojas de lechugas, brócoli, hojas de choclo y culantro), así como frutas en descomposición, fueron recolectadas en los diferentes mercados ubicados en la ciudad de Riobamba, figura 12.



Figura 12. Desechos en los mercados de la ciudad de Riobamba.

Fuente: El Autor

Luego, para la construcción de los electrodos se utilizó tres tipos de materiales: cobre, aluminio, y acero inoxidable con 60 g de carbón activado en su interior, figura 13.



Figura 13. Electrodo con carbono Activado.

Fuente: El Autor

Para la implementación de la celda, figura 14 (a); como contenedor de los diferentes tipos de suelo y sus respectivos electrodos se utilizaron contenedores reciclados de plástico de 1 galón. Cada celda contenía 3 kg de suelo previamente mezclado con los desechos orgánicos, 60 gramos de carbono activado y un separador de Nylon, figura 14 (b). El costo de la construcción de cada una de las celdas fue de 3 dólares aproximadamente.

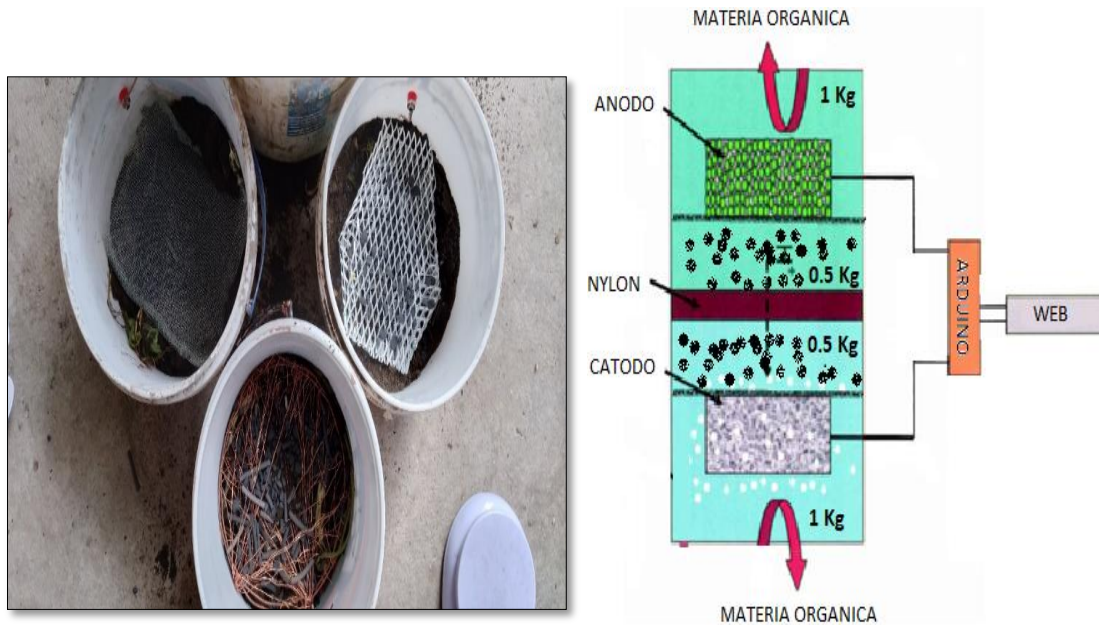


Figura 14. a. Implementación de la celda b. Estructura de las celdas

Fuente: El Autor

Una vez construidas las celdas, la etapa de monitoreo se llevó a cabo en dos fases. En la primera se procedió con una medición manual para verificar el correcto funcionamiento de la celda y la generación inicial de voltaje, figura 15. La segunda fase del monitoreo se realizó de forma automática y en tiempo real; para este fin, se construyó un sistema electrónico que permitió enviar los datos del voltaje generado por cada una de las celdas hacia un servidor central durante los 7 días que duró el experimento, figura 16.



Figura 15. Voltaje de la celda medida con el multímetro.

Fuente: El Autor

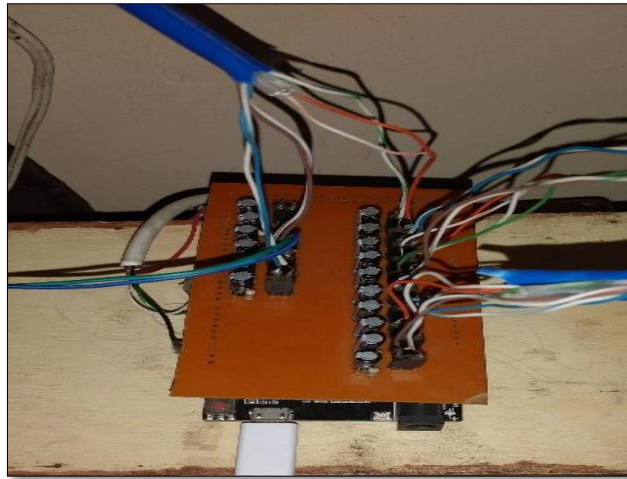


Figura 16. Sistema electrónico de monitoreo de las celdas bioenergéticas.

Fuente: El Autor

Durante el tiempo de monitoreo se realizó el regado de las celdas con la solución NPK (Abono Químico), 100 ml cada día, con el fin de mejorar la descomposición de la materia orgánica, figura 17.



Figura 17. Regado de celdas.

Fuente: El Autor

La plataforma ThingSpeak fue utilizada para la visualización en tiempo real y de forma remota, además del almacenamiento de los datos, figura 18.

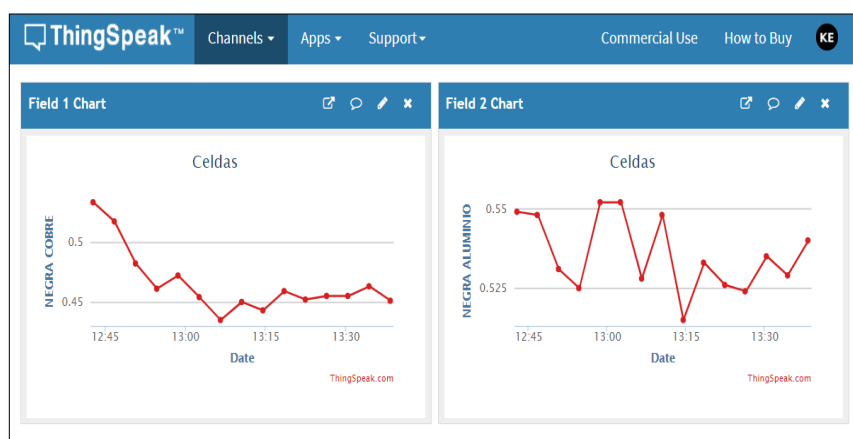


Figura 18. Monitoreo remoto en tiempo real de las celdas bioenergéticas.

Fuente: El Autor

Finalmente, la tabla 4, describe los materiales utilizados y sus cantidades.

TABLA 4. Materiales necesarios para el proyecto de investigación

Cantidad	Unidad de Medida	Descripción
12	Unidad	Envases plásticos de 1 galón
2	Metros	Malla de acero inoxidable
2	Metros	Malla de aluminio

5	Metros	Alambre de cobre
10	Kg.	Carbón activado
1	Unidad	Multímetro
1	Metro	Tela Nylon
1	Unidad	Balanza analítica
1	Unidad	Computadora
3	Unidad	Sensores
12	Kg.	Suelo Negro
12	Kg.	Suelo Salino
12	Kg.	Suelo Arenoso
12	Kg.	Suelo Chibunga
1	Kg.	NPK (Abono Químico)
1	Unidad	Arduino Mega, Wifi
4	Unidad	Sensores de temperatura
20	Unidad	Cables de conexión de Arduino
1	Unidad	Invernadero

Fuente: El Autor

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los 7 días de monitoreo en tiempo real de cada celda se obtuvieron 1008 datos medidos cada 10 minutos, de los cuales se extrajeron 279 muestras de forma aleatoria. Los resultados se describen a continuación.

4.1 CELDA CON SUELO NEGRO

En la figura 19, se presentan resultados de la medición de voltaje en unidades de voltios para las celdas de suelo negro con electrodos de cobre, aluminio y acero. Como resultado se puede observar que la celda con electrodo de acero generó la mayor cantidad de voltaje.

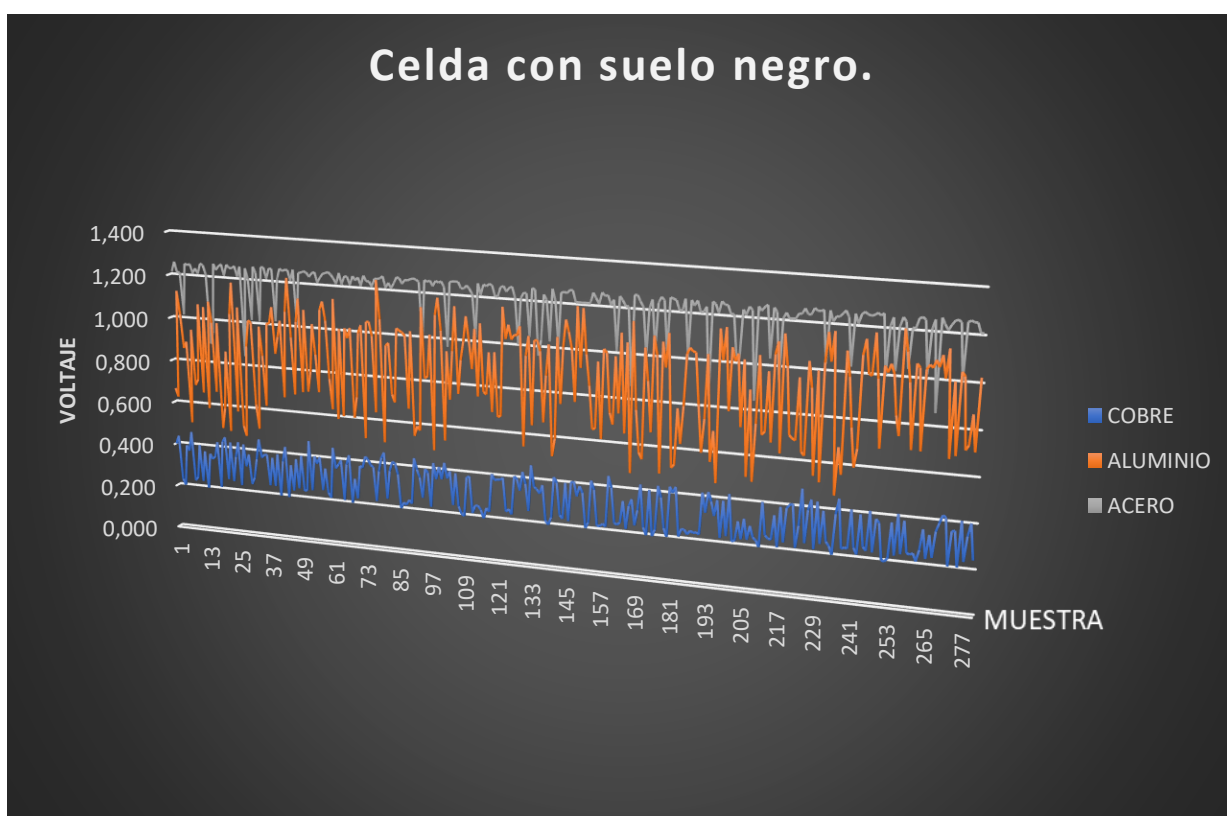


Figura 19. Voltaje generado por la celda de suelo negro con electrodos de cobre, aluminio y acero.

Fuente: El Autor

4.2 CELDA CON SUELO SALINO

En la figura 20, se presentan resultados de la medición de voltaje en unidades de voltios para las celdas de suelo salino con electrodos de cobre, aluminio y acero. Como resultado se puede observar que la celda con electrodo de aluminio generó la mayor cantidad de voltaje.

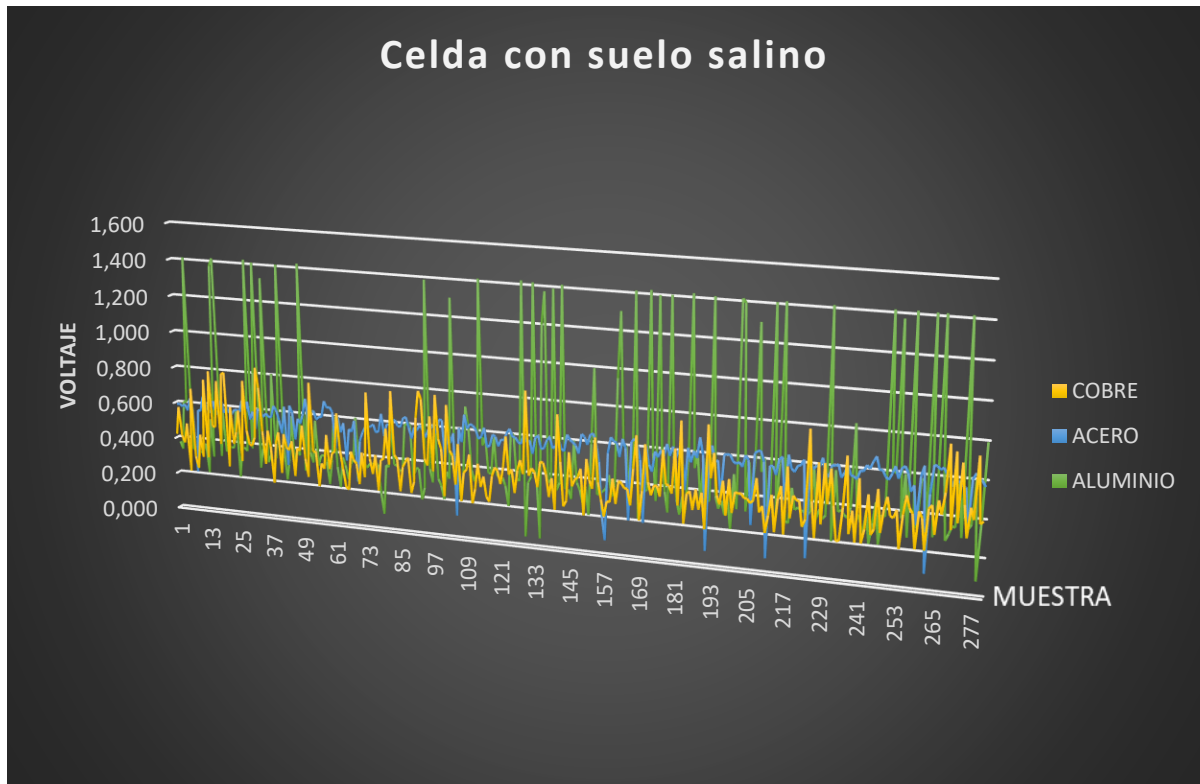


Figura 20. Voltaje generado por la celda de suelo salino con electrodos de cobre, aluminio y acero.

Fuente: El Autor

4.3 CELDA CON SUELO ARENOSO

En la figura 21, se presentan resultados de la medición de voltaje en unidades de voltios para las celdas de suelo arenoso con electrodos de cobre, aluminio y acero. Como resultado se puede observar que la celda con electrodo de cobre generó la mayor cantidad de voltaje.

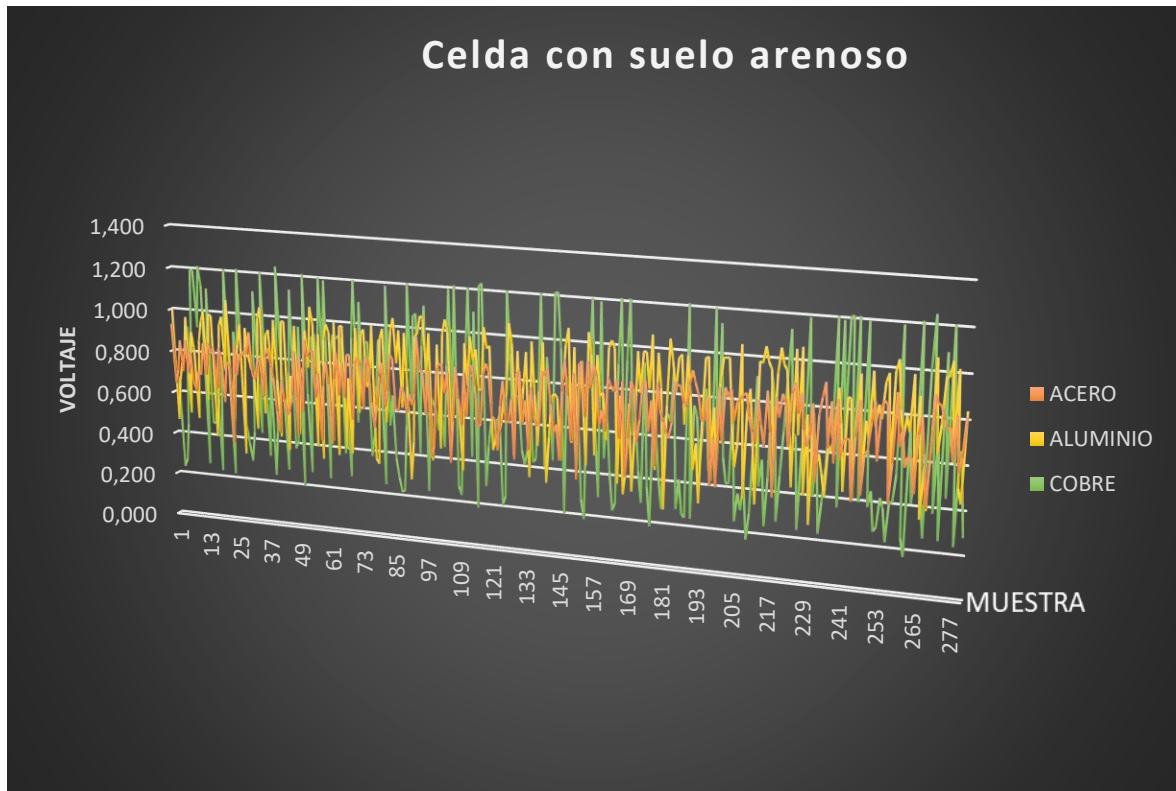


Figura 21. Voltaje generado por la celda de suelo arenoso con electrodos de cobre, aluminio y acero.

Fuente: El Autor

4.4 CELDA CON SUELO CHIBUNGA

En la figura 22, se presentan resultados de la medición de voltaje en unidades de voltios para las celdas de suelo de las orillas del río Chibunga con electrodos de cobre, aluminio y acero. Como resultado se puede observar que la celda de aluminio generó la mayor cantidad de voltaje.

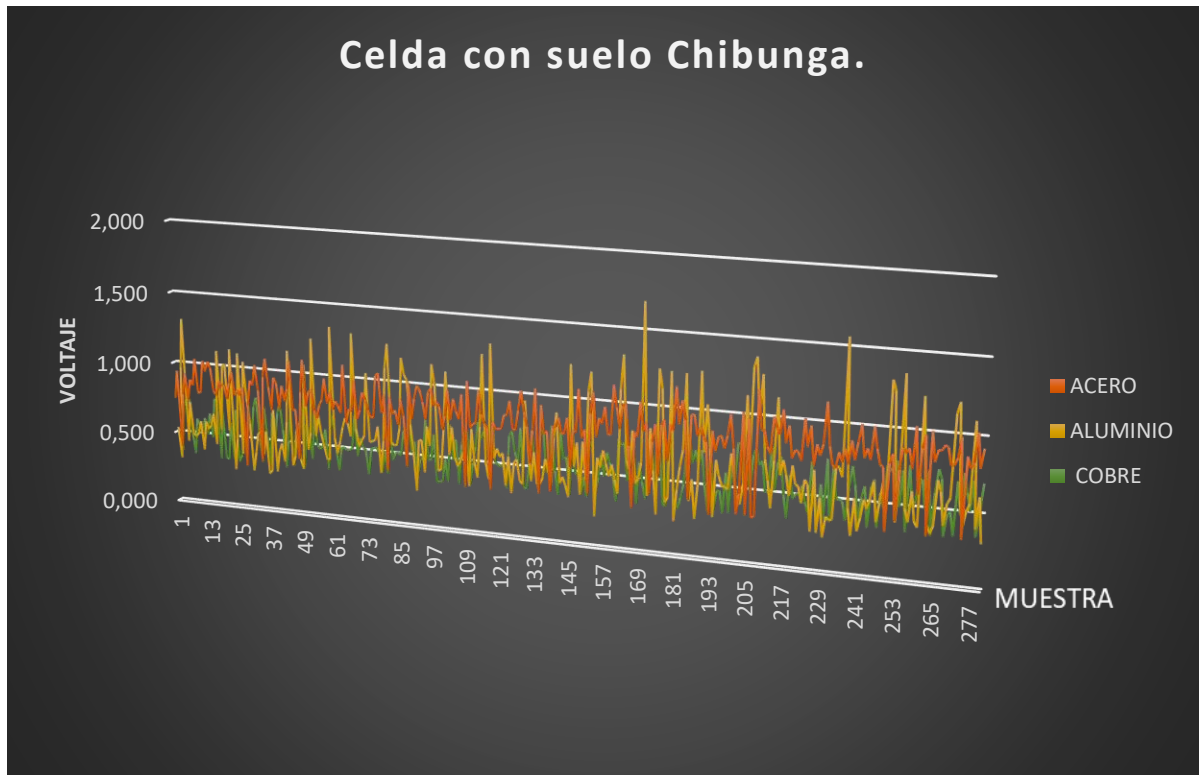


Figura 22. Voltaje generado por la celda de suelo del río Chibunga con electrodos de cobre, aluminio y acero.

Fuente: El Autor

4.5 SELECCIÓN DE CELDAS

Para seleccionar la celda que produce mayor cantidad de energía se aplicó la prueba de hipótesis considerando lo siguiente:

Hipótesis Nula (H_0): Todas las celdas generan la misma cantidad de voltaje.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6 = \mu_7 = \mu_8 = \mu_9 = \mu_{10} = \mu_{11} = \mu_{12}$$

Hipótesis Alternativa (H_A): Por lo menos 2 celdas generan diferente cantidad de voltaje.

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6 \neq \mu_7 \neq \mu_8 \neq \mu_9 \neq \mu_{10} \neq \mu_{11} \neq \mu_{12}$$

Donde:

TABLA 5. Variables de la hipótesis.

μ_1 =SUELO NEGRO COBRE	μ_7 = SUELO ARENOSO ACERO
μ_2 = SUELO NEGRO ALUMINIO	μ_8 = SUELO ARENOSO ALUMINIO
μ_3 = SUELO NEGRO ACERO	μ_9 = SUELO ARENOSO COBRE
μ_4 = SUELO SALINO COBRE	μ_{10} =SUELO CHIBUNGA COBRE
μ_5 = SUELO SALINO ACERO	μ_{11} = SUELO CHIBUNGA ALUMINIO
μ_6 = SUELO SALINO ALUMINIO	μ_{12} = SUELO CHIBUNGA COBRE

Fuente: El Autor

La variable dependiente (voltaje) considerada en este proyecto tiene una respuesta continua y un factor categórico con más de dos niveles, por lo tanto, para seleccionar la celda que genera la mayor cantidad de voltaje se aplicó la prueba de ANOVA cuyos resultados se detallan en las tablas 6 y 7:

TABLA 6. Parámetros Descriptivos de las 12 celdas

Voltaje								
Celdas	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mín.	Máx.
					Lím. inf	Lím. sup		
SUELO NEGRO- COBRE	280	0,32	0,09	0,01	0,31	0,33	0,20	0,49
TIERRA NEGRA- ALUMINIO	280	0,88	0,21	0,01	0,85	0,90	0,47	1,25
SUELO NEGRO- ACERO	280	1,21	0,09	0,01	1,19	1,22	0,84	1,26
SUELO SALINO- COBRE	280	0,42	0,15	0,01	0,40	0,44	0,20	0,85

SUELO SALINO-ACERO	280	0,56	0,10	0,01	0,55	0,57	0,08	0,69
SUELO SALINO-ALUMINIO	280	0,52	0,36	0,02	0,48	0,56	0,04	1,42
SUELO ARENOSO-ACERO	280	0,72	0,14	0,01	0,70	0,74	0,37	0,97
SUELO ARENOSO-ALUMINIO	280	0,76	0,23	0,01	0,73	0,79	0,27	1,06
SUELO ARENOSO-COBRE	280	0,66	0,32	0,02	0,62	0,69	0,17	1,25
SUELO CHIBUNGA-COBRE	280	0,82	0,18	0,01	0,80	0,84	0,30	1,18
SUELO CHIBUNGA-ALUMINIO	280	0,64	0,29	0,02	0,60	0,67	0,21	1,69
SUELO CHIBUNGA-COBRE	280	0,55	0,15	0,01	0,53	0,56	0,31	0,80
Total	3360	0,67	0,31	0,01	0,66	0,68	0,04	1,69

Fuente: El Autor

TABLA 7. Prueba ANOVA

ANOVA					
VOLTAJE					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	166,913	11	15,174	340,202	,000

Dentro de grupos	149,330	3348	,045		
Total	316,243	3359			

Fuente: El Autor

Para comparar el comportamiento de las celdas y determinar una relación entre ellas, conjuntamente con la prueba ANOVA se aplicó la prueba de Tukey o POST HOC; los resultados se muestran en la tabla 8.

TABLA 8. Prueba POST HOC (TUKEY).

VOLTAJE									
Celda	N	Subconjunto para alfa = 0.05							
		1	2	3	4	5	6	7	8
SUELO NEGRO-COBRE	280	0,32							
SUELO SALINO-COBRE	280		0,42						
SUELO SALINO-ALUMINIO	280			0,52					
SUELO CHIBUNGA COBRE	280			0,55					
SUELO SALINO-ACERO	280			0,56					
SUELO CHIBUNGA-ALUMINIO	280				0,64				
SUELO ARENOSO-COBRE	280				0,66				
SUELO ARENOSO-ACERO	280					0,72			

SUELO ARENOSO-ALUMINIO	280					0,76				
SUELO CHIBUNGA-COBRE	280						0,82			
SUELO NEGRO-ALUMINIO	280							0,88		
SUELO NEGRO-ACERO	280									1,21
Sig.		1,00	1,00	0,41	1,00	0,52	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: El Autor

Las figuras 23 y 24 muestran el comportamiento de los promedios de las diferentes celdas.

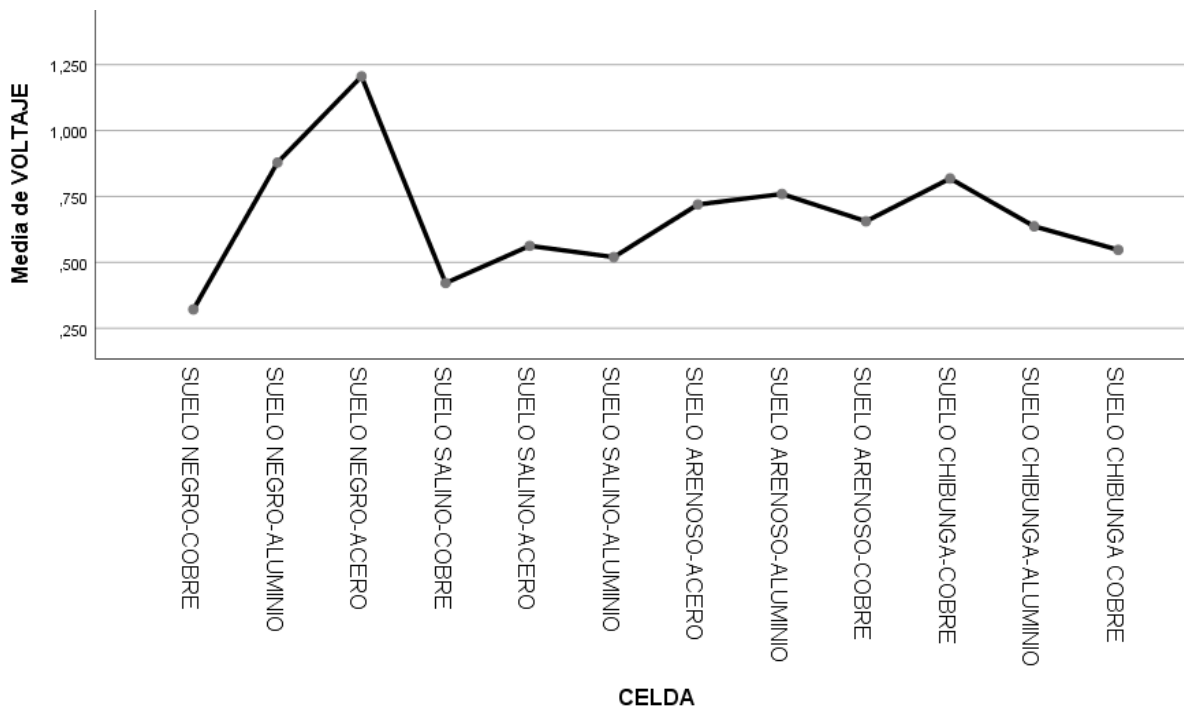


Figura 23. Gráficas de medias del voltaje generado por todas las celdas.

Fuente: El Autor

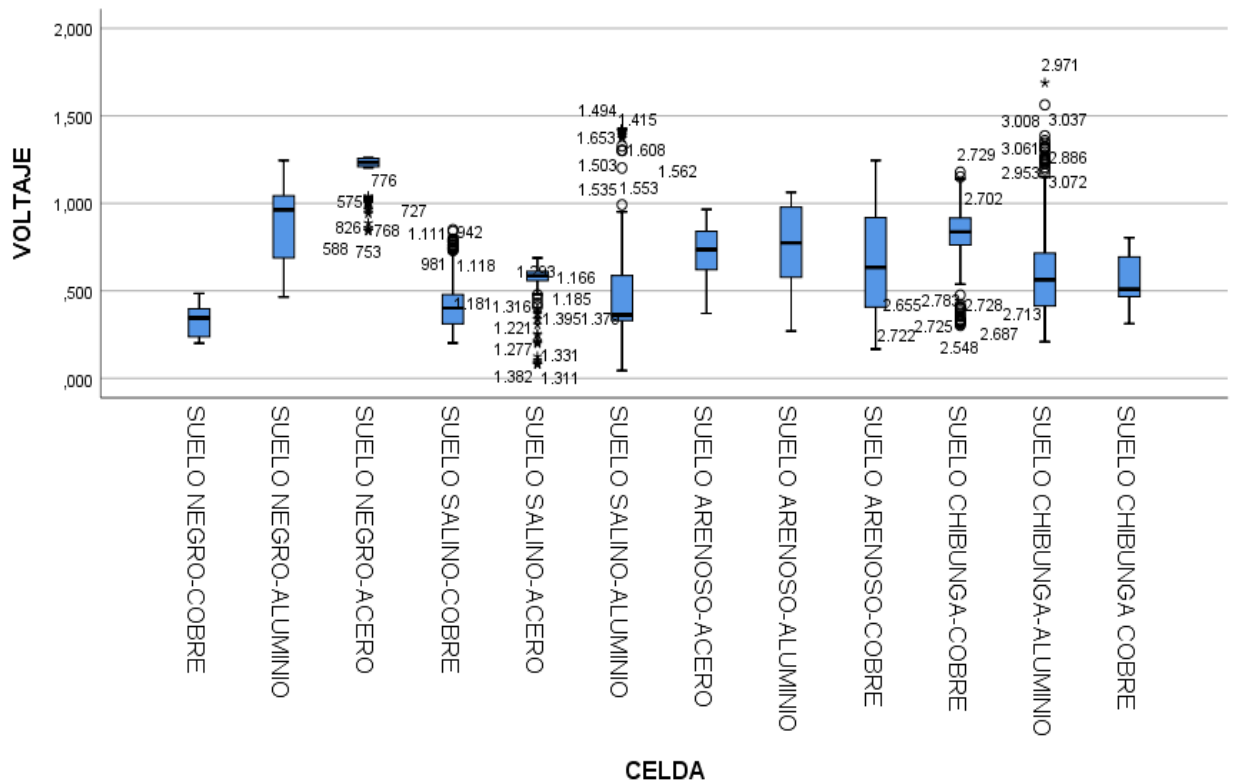


Figura 24. Diagrama de cajas de las medias de voltaje generado por las celdas.

Fuente: El Autor

4.6 DISCUSIÓN

En este proyecto de investigación se construyeron doce celdas con diferentes tipos de suelos (negro, salino, arenoso y del río Chibunga) y de electrodos (acero, cobre y aluminio). Las celdas construidas con electrodo de acero arrojaron mejores resultados en cuanto a la generación de voltaje y las construidas con electrodos de cobre los peores. Además, de la tabla 6 se determina claramente que, de todas las celdas, el valor minino de voltaje generado fue de 0.44 V (salino-aluminio) y el máximo de 1.25 V (negro-acero).

Con la prueba de ANOVA, tabla 7, ser rechaza la hipótesis nula (p -valor= 0.000 es menor que 0.05), es decir que existe diferencia en alguno de los promedios de las distintas variables de voltaje, siendo el valor más alto el de la celda de **suelo negro con electrodo de acero** con un valor de voltaje entre 0.86 V y 1.25 V como se muestra en la figura 23.

En la tabla 8, se visualizan las medias para los 8 grupos y sus subconjuntos homogéneos para un tamaño de la muestra de la media armónica de 279. Los subconjuntos correspondientes son: 1) suelo negro-cobre 2) suelo salino-cobre, 3) suelo salino-aluminio, Chibunga-cobre, salino-acero, 4) suelo Chibunga-aluminio, arenoso-cobre, 5) suelo arenoso-acero, arenoso-aluminio, 6) suelo Chibunga-cobre, 7) suelo negro-aluminio y 8)

suelo negro-acero; de los cuales los grupos 3, 4 y 5 generan la misma cantidad de voltaje y los otros 5 restantes generan diferente voltaje.

En la figura 24, se puede apreciar que la celda construida con suelo negro-acero es la más estable y se mantiene dentro de un rango en la generación de voltaje, así mismo, la celda que genera menor cantidad de voltaje es la celda de suelo negro-cobre y suelo Chibunga cobre. Por otra parte, las celdas que tuvieron más estabilidad dentro de un rango de generación de voltaje fueron las de suelo arenoso con los tres tipos de electrodos (cobre, acero y aluminio), de igual forma, podemos apreciar que el suelo Chibunga-aluminio sobrepasó los niveles de voltaje en algún intervalo del tiempo en el monitoreo.

En general, la construcción de la celda utilizando suelo negro con electrodo de acero generó un máximo de voltaje de 1.21 V, mucho mayor comparado con trabajos similares en los cuales se obtuvieron valores de 222 mV, en celdas de una cámara y 88 mV en celdas de doble cámara en Peralta Cisneros y entre 327 y 359 mV en Ortiz, 2019; inclusive la celda construida con suelo negro-cobre y que generó el mínimo voltaje de 0,334V alcanza y supera aquellos voltajes generados en los trabajos antes mencionados.

4.7 ALIMENTACIÓN DE LA RED DE SENSORES

Finalmente, con los resultados obtenidos, se procedió a la construcción de 4 celdas de suelo negro con electrodo de acero con el fin de alimentar una red de sensores ubicada en un invernadero. Las celdas se interconectaron en serie y generaron un voltaje total de 5.34 V, figura 25. Para verificar el funcionamiento, los sensores fueron monitoreados utilizando el mismo sistema de monitoreo de las celdas ThingSpeak, figura 26.

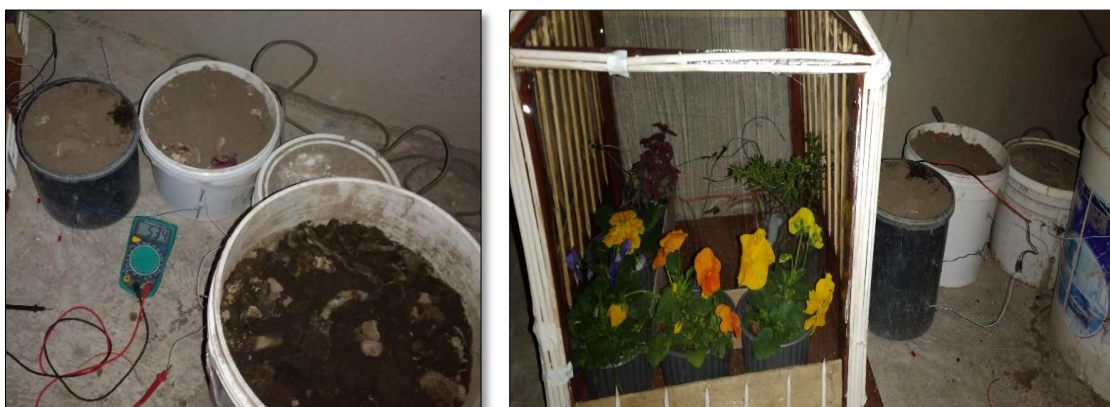


Figura 25. Red de sensores de un invernadero alimentada con celdas biogénicas.

Fuente: El Autor

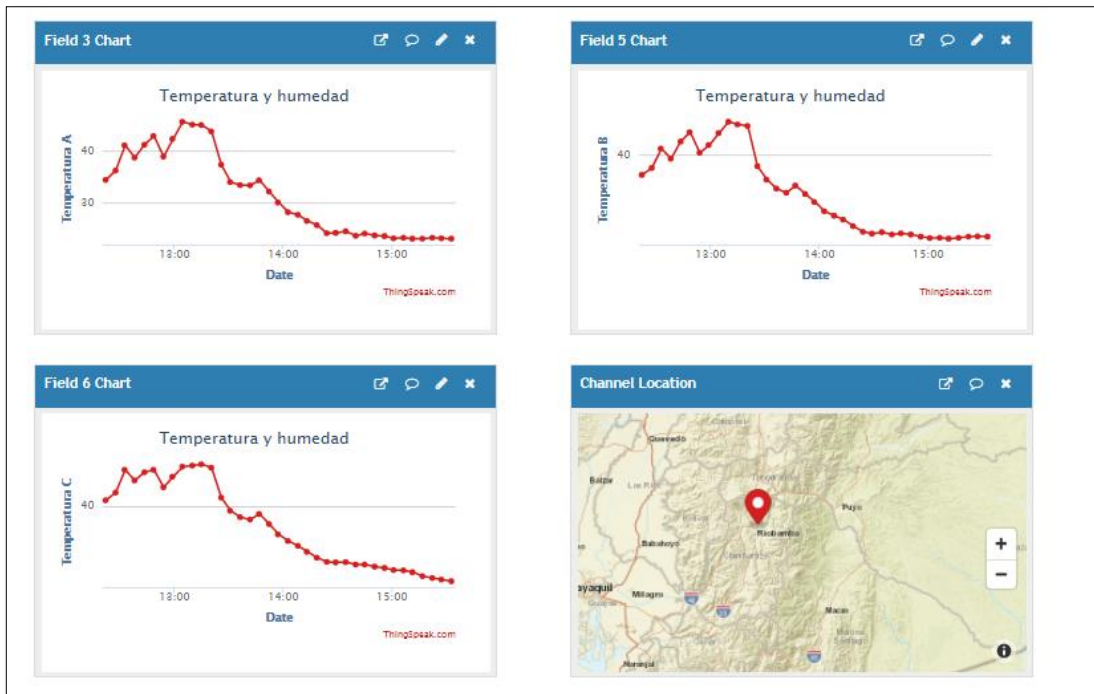


Figura 26. Monitoreo remoto en tiempo real de la red de sensores.

Fuente: El Autor

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se construyeron doce tipos de celdas bioenergéticas con diferentes tipos de suelos y materiales para sus electrodos. La combinación de tierra negra con electrodo de acero fue la más favorable al momento de generar el voltaje entre 0.842 V y 1.261 V; mientras que la celda que generó menor voltajes 0.33 V y 0.44 V, fue la construida con suelo negro y electrodo de cobre.
- El electrodo construido con acero recubierto de carbono activado es el más estable en la generación de energía con los cuatro tipos de tierra y no sufre corrosiones, ya que es resistente.
- Con la interconexión en serie de 4 celdas bioenergéticas de suelo negro con electrodo de acero se logró obtener un voltaje de 5.3 V, suficiente para alimentar una red de sensores.
- Todas las celdas construidas en este proyecto han generado niveles de voltaje entre 0.33 V y 1.26 V que son superiores al generado por las celdas construidas en trabajos similares.

5.2 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- La temperatura ambiente debe ser estable para evitar influencias del clima en el monitoreo de las celdas, de igual manera el tiempo y la cantidad de NPK que se aplica a cada una de las celdas debe ser preciso y a un tiempo determinado.
- Los cables utilizados para el monitoreo de las celdas deben ser lo más corto posible para evitar errores en las mediciones.
- Para la producción de bioelectricidad se recomienda experimentar con otros tipos suelos, de desechos y diferentes materiales para los electrodos.
- Para futuros trabajos de investigación dentro de la misma línea de este proyecto, se propone analizar la influencia de la temperatura en la generación de energía en las celdas bioenergéticas

BIBLIOGRAFÍA

- ARCONEL. (2019). *regulacionelectrica.gob.ec*. Obtenido de *regulacionelectrica.gob.ec*:
<https://www.regulacionelectrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/>
- CÁCERES, S. J. (2018). *PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD EN CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS A PARTIR DE TIOSULFATO UTILIZANDO CEPAS DE PERU*.
- Dumitri, A., & Scott, k. (2016). Materials for Microbial Fuel Cells and Reactor Design. En A. Dumitri, & k. Scott, *Microbial Electrochemical and Fuel Cells* (págs. 115-152). Cambridge, Reino Unido: Elsevier.
- ENDESA. (2020). <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa>. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa>:
<https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa>
- Energeticos, C. (Febrero de 2018). *Generación de energía a partir de la basura*. Obtenido de *certificadosenergeticos.com*:
<https://www.certificadosenergeticos.com/generacion-energia-basura-energia-100-limpia>
- eumed. (2012). *www.eumed.net*. Obtenido de https://www.eumed.net/tesis-doctorales/2012/eal/seleccion_muestra.html
- Griffiths Spielman, J. W. (2011). *www.clacso.org*. Obtenido de "http://biblioteca.clacso.org.ar/clacso/engov/20130827052932/engMAalCubillosEstensoro.pdf"
- Guambo Galazar, A. F., & Allauca Caisaguano, G. E. (2015). *Estudio de la influencia de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de Aguas Residuales en la Producción*. RIOBAMBA.
- Hormaeche, J. I. (2008). *euskadi*. Obtenido de *euskadi*:
https://www.euskadi.eus/contenidos/informacion/estudios_publicaciones_dep/es_publica/adjuntos/petroleo_y_energia.pdf

- Logan, B. (2009). Exoelectrogenic bacteria that power microbial fuel cells. *Nature Reviews Microbiology*. En B. Logan, *Exoelectrogenic bacteria that power microbial fuel cells. Nature Reviews Microbiology* (págs. 375–381).
- Minitab. (2019). (C) Minitab, LLC. All rights Reserved. 2019. Obtenido de [https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/#:%7E:text=Un%20an%C3%A1lisis%20de%20varianza%20\(ANOVA,diferentes%20niveles%20de%20los%20factores.](https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/what-is-anova/#:%7E:text=Un%20an%C3%A1lisis%20de%20varianza%20(ANOVA,diferentes%20niveles%20de%20los%20factores.)
- Ortiz, D. I. (2019). *Determinación del efecto del tipo de membrana sobre las características de funcionamiento de una celda de combustible microbiana para la producción de energía eléctrica*. Cuenca.
- Peralta Cisneros, C. L. (2018). *GENERACIÓN DE BIOELECTRICIDAD EN CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS CON DEPURACIÓN SIMULTÁNEA DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL ALIMENTICIA*. Obtenido de <http://www.uagraria.edu.ec/revista-cientifica.html>.
- Ramírez, A. (2018). *Optimización y diseño de celdas de combustible microbianas de doble comportamiento alimentadas con Biomasa Algal Tesis Doctoral*. Obtenido de Universidad de Castilla-La Mancha: <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/19472/TESIS%20Asensio%20ORam%c3%adrez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Revelo, D. M. (2013). CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS (CCMS): UN RETO PARA LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. *scielo*.
- S.A.S., F. y. (12 de ENERO de 2016). <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com>. Obtenido de <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com>: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/lodos-definicion-clasificacion-tipos/ssdielect>.
- ssdielect. (2020). <https://ssdielect.com>. Obtenido de <https://ssdielect.com>: <https://ssdielect.com/cb/wifi-sistemas-de-desarrollo-esp8266-wifi/2343-mega2560-w.html>

ThingSpeak. (2019). *ThingSpeak*. Obtenido de ThingSpeak:

<https://sites.google.com/ieslafuentsanta.es/iot/proceso/estudio-plataformas-iot/software/thingspeak>

Vargas Corredor, Y. A., & Pérez, L. I. (13 de MARZO de 2018).

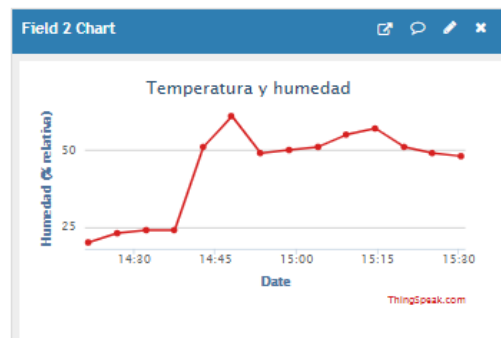
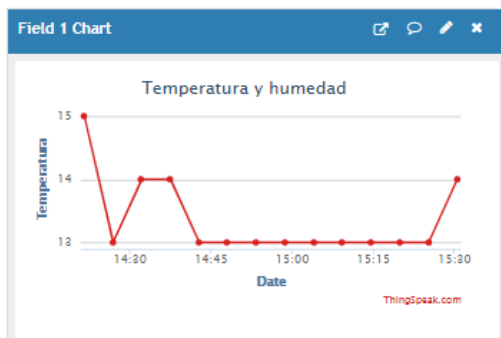
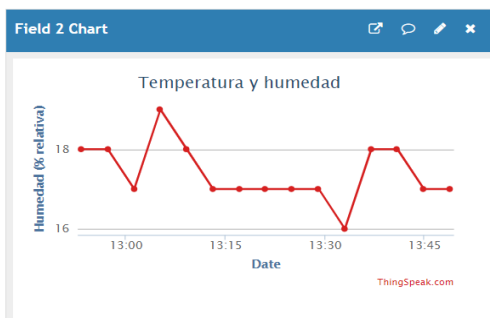
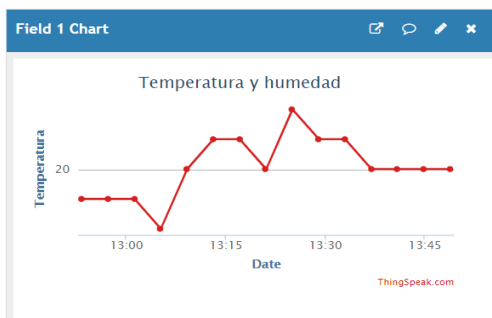
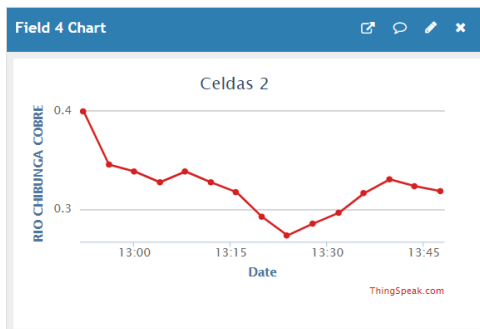
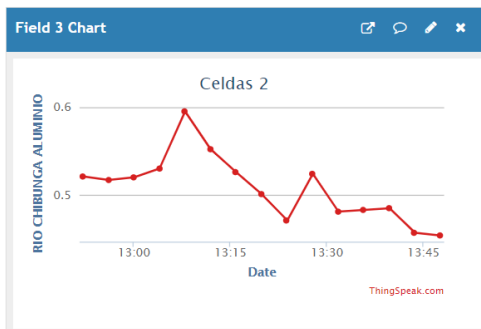
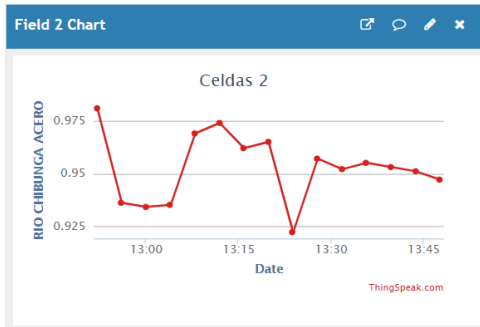
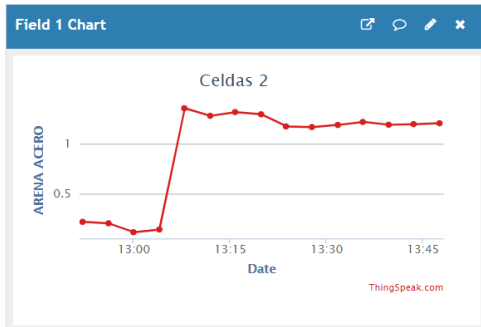
<https://revistas.unimilitar.edu.co/>. Obtenido de <https://revistas.unimilitar.edu.co/>:
<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/download/3108/2874/>

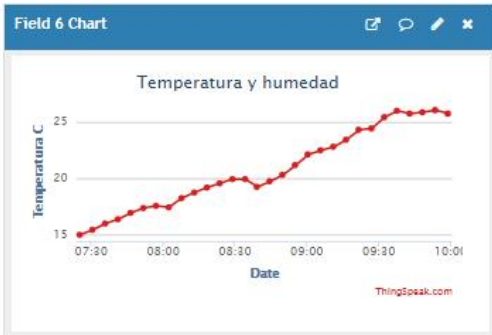
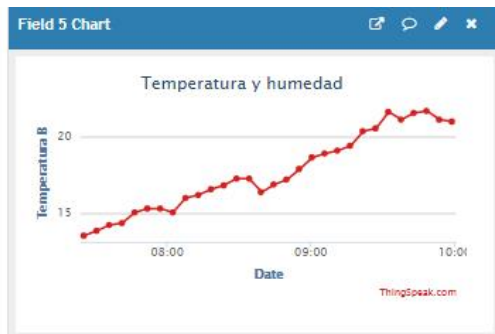
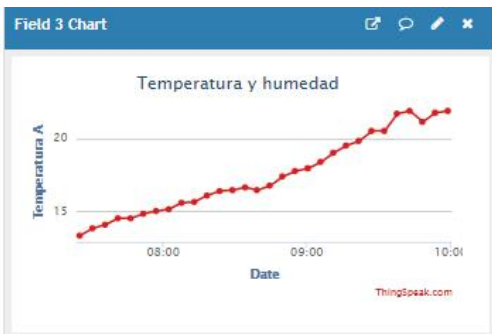
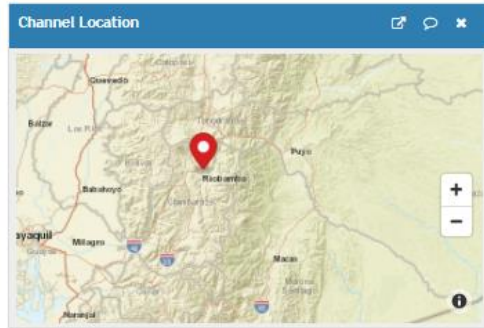
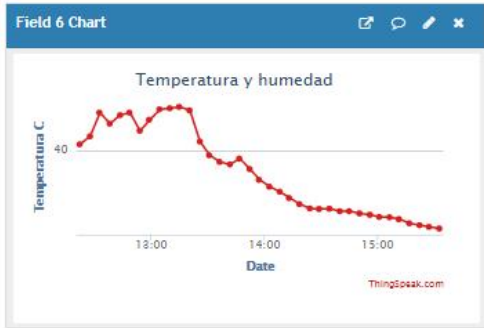
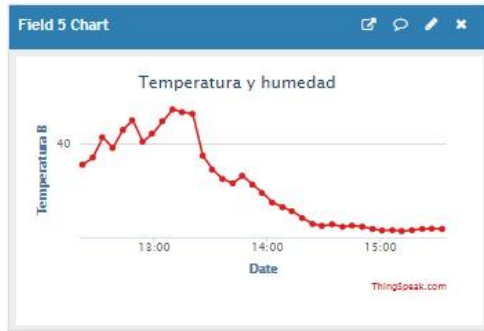
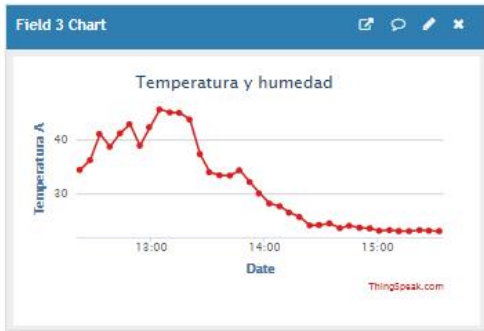
6. ANEXOS

ANEXO 1. Monitoreo en tiempo real de las celdas

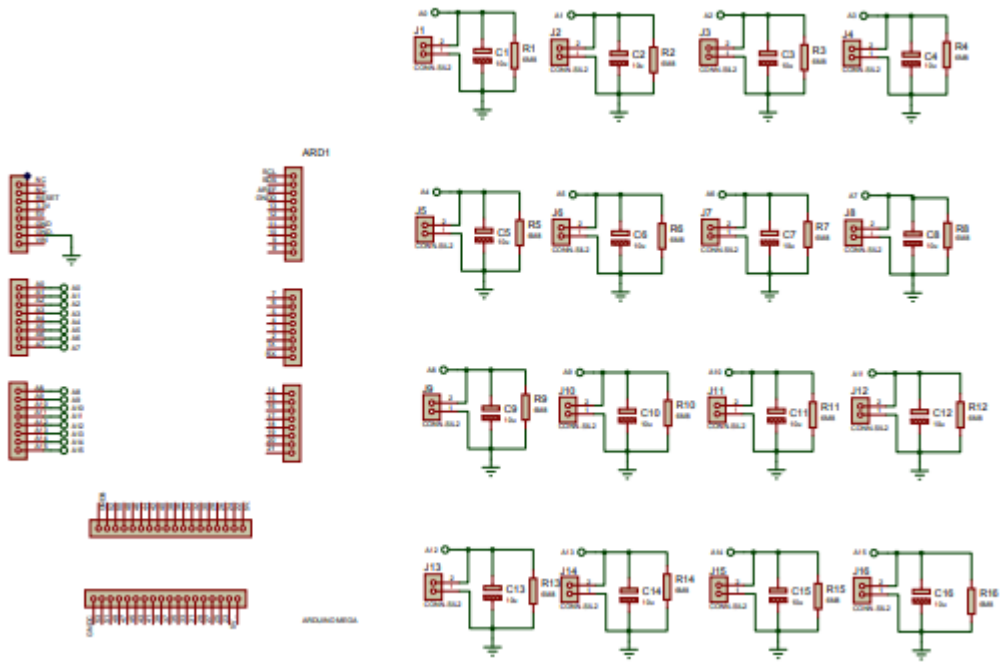
ThingSpeak™ Channels Apps Support Commercial Use How to Buy KE

Entries: 4869





ANEXO 2. Placa de circuito para conexión de celdas con Arduino.



ANEXO 3. Código Arduino para el monitoreo de celdas

```
// Se usa arduino mega incluido wifi
// se envia 16 datos a 2 diferentes canales
// de thingspeak
//se incluye 4 ds18b20

#include <DHT11.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

String apiKey = "UFNGMVNETK0ZZGIA";
String apiKey2 = "OX7YXGIQLH6TNHMC";
String apiKey3 = "FAPZG1NIFF5ZS8FL";

int pedido=0;
int cont=0;

#define NUM_SAMPLES 20
int sum = 0;           // suma de muestras hechas
unsigned char sample_count = 0; // numero de la muestra
float voltage = 0.0;  // voltaje calculado

int adcx=0;
float s0;
float s1;
float s2;
float s3;
float s4;
float s5;
float s6;
float s7;
float s8;

float s9;
```

```

float s10;
float s11;
float s12;
float s13;
float s14;
float s15;

int time=180; //cada vez que pasa este valor en segundos envia el dato
float cte=1.590;// calibración de lectura de voltaje

int pin=2;
DHT11 dht11(pin);
float temp2, hum2;

float tempAX, tempBX,tempCX,tempDX;

// Data wire is plugged into pin 2 on the Arduino
#define ONE_WIRE_BUSA 2
#define ONE_WIRE_BUSB 3
#define ONE_WIRE_BUSC 4
#define ONE_WIRE_BUSD 5

// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices
// (not just Maxim/Dallas temperature ICs)
OneWire oneWire1(ONE_WIRE_BUSA);
OneWire oneWire2(ONE_WIRE_BUSB);
OneWire oneWire3(ONE_WIRE_BUSC);
OneWire oneWire4(ONE_WIRE_BUSD);

// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.
DallasTemperature sensors1(&oneWire1);
DallasTemperature sensors2(&oneWire2);
DallasTemperature sensors3(&oneWire3);
DallasTemperature sensors4(&oneWire4);

void setup()

```

```

{
  // enable debug serial
  Serial.begin(9600);
  // enable software serial
  Serial3.begin(115200);//Iniciamos el puerto serie del gps

  //Verificamos si el ESP8266 responde
  Serial3.println("AT");
  if(Serial3.find("OK"))
    Serial.println("Respuesta AT correcto");
  else
    Serial.println("Error en ESP8266");

  //-----Configuración de red-----//Podemos comentar si el ESP ya está
  configurado

  //ESP8266 en modo estación (nos conectaremos a una red existente)
  Serial3.println("AT+CWMODE=1");
  if(Serial3.find("OK"))
    Serial.println("ESP8266 en modo Estacion");

  //Nos conectamos a una red wifi

  //Serial3.println("AT+CWJAP=\"Claro_HUERTAS0011452477\", \"DIANAY6263
  2294739303\");
  Serial3.println("AT+CWJAP=\"JUAN_CONTIGOEC\", \"ju@n.@llauc.\");
  Serial.println("Conectandose a la red ...");
  Serial3.setTimeout(10000); //Aumentar si demora la conexion
  if(Serial3.find("OK"))
    Serial.println("WIFI conectado");
  else{
    Serial.println("Error al conectarse en la red");
  }
}

```

```

    asm volatile (" jmp 0");
    Serial3.setTimeout(2000);
}
//Desabilitamos las conexiones multiples
Serial3.println("AT+CIPMUX=0");
if(Serial3.find("OK"))
    Serial.println("Multiconexiones deshabilitadas");

```

```

sensors1.begin();
sensors2.begin();
sensors3.begin();
sensors4.begin();

}

```

```

void loop(){

```

```

    if(pedido==0){
        adc();
        adcx++;
        if(adcx>=8){
            adcx=0;
        }
    }

```

```

        delay(1000);        //Recordad que solo lee una vez por segundo
        cont++;
        if (cont==time){
            cont=0;
            pedido=1;

```

```
}  
}
```

```
if(pedido==1){  
  //Serial.println(s0);  
  char buffer[25]; // char field  
  dtostrf(s0, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string  
  String state0 = String(buffer);
```

```
  dtostrf(s1, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string  
  String state1 = String(buffer);
```

```
  dtostrf(s2, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string  
  String state2 = String(buffer);  
  delay(100);
```

```
  dtostrf(s3, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string  
  String state3 = String(buffer);  
  delay(100);
```

```
  dtostrf(s4, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string  
  String state4 = String(buffer);  
  delay(100);
```

```
  dtostrf(s5, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string  
  String state5 = String(buffer);  
  delay(100);
```

```
  dtostrf(s6, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string  
  String state6 = String(buffer);  
  delay(100);
```



```
dtostrf(s7, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string
String state7 = String(buffer);
delay(100);
```

```
// TCP connection
String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\", \"";
cmd += "184.106.153.149"; // api.thingspeak.com
cmd += "\",80";
Serial3.println(cmd);
Serial.println(cmd);
```

```
if(Serial3.find("Error")){
  Serial.println("AT+CIPSTART error");
  return;
}
```

```
// prepare GET string
String getStr = "GET /update?api_key=";
getStr += apiKey;
```

```
getStr += "&field1=";
getStr += String(state0);
getStr += "&field2=";
getStr += String(state1);
getStr += "&field3=";
getStr += String(state2);
getStr += "&field4=";
getStr += String(state3);
getStr += "&field5=";
getStr += String(state4);
getStr += "&field6=";
```

```

getStr += String(state5);
getStr += "&field7=";
getStr += String(state6);
getStr += "&field8=";
getStr += String(state7);

getStr += "\r\n\r\n";

// send data length
cmd = "AT+CIPSEND=";
cmd += String(getStr.length());
Serial3.println(cmd);
Serial.println(cmd);

if(Serial3.find(">")){
  Serial3.print(getStr);
  Serial.print(getStr);
}
else{
  Serial3.println("AT+CIPCLOSE");
  // alert user
  Serial.println("AT+CIPCLOSE");
}

delay(100);
pedido=2;
}

```

```
if(pedido==2){
    adc2();
    adcx ++;
    if(adcx>=8){
        adcx=0;
    }
}
```

```
    delay(1000);        //Recordad que solo lee una vez por segundo
    cont++;
    if (cont==time){
        cont=0;
        pedido=3;
    }
}
```

```
if(pedido==3){
    //Serial.println(s0);
    char buffer[25]; // char field
    dtostrf(s8, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string
    String state8 = String(buffer);
```

```
    dtostrf(s9, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string
    String state9 = String(buffer);
```

```
    dtostrf(s10, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string
    String state10 = String(buffer);
    delay(100);
```

```
    dtostrf(s11, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string
String state11 = String(buffer);
delay(100);
```

```
    dtostrf(s12, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string
String state12 = String(buffer);
delay(100);
```

```
    dtostrf(s13, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string
String state13 = String(buffer);
delay(100);
```

```
    dtostrf(s14, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string
String state14 = String(buffer);
delay(100);
```

```
    dtostrf(s15, 2, 3, buffer); // http://dereenigne.org/arduino/arduino-float-to-string
String state15 = String(buffer);
delay(100);
```

```
// TCP connection
String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\",\"";
cmd += "184.106.153.149"; // api.thingspeak.com
cmd += "\",80";
Serial3.println(cmd);
Serial.println(cmd);

if(Serial3.find("Error")){
    Serial.println("AT+CIPSTART error");
    return;
}
```

```

// prepare GET string
String getStr = "GET /update?api_key=";
getStr += apiKey2;

getStr += "&field1=";
getStr += String(state8);
getStr += "&field2=";
getStr += String(state9);
getStr += "&field3=";
getStr += String(state10);
getStr += "&field4=";
getStr += String(state11);
getStr += "&field5=";
getStr += String(state12);
getStr += "&field6=";
getStr += String(state13);
getStr += "&field7=";
getStr += String(state14);
getStr += "&field8=";
getStr += String(state15);

getStr += "\r\n\r\n";

// send data length
cmd = "AT+CIPSEND=";
cmd += String(getStr.length());
Serial3.println(cmd);
Serial.println(cmd);

if(Serial3.find(">")){
  Serial3.print(getStr);
  Serial.print(getStr);
}

```

```

}
else{
  Serial3.println("AT+CIPCLOSE");
  // alert user
  Serial.println("AT+CIPCLOSE");
}

```

```

delay(100);
pedido=4;
}

```

```

if(pedido==4){
  int err;
  float temp, hum;

  if((err = dht11.read(hum, temp)) == 0) // Si devuelve 0 es que ha leído bien
  {
    temp2=temp;
    hum2=hum;
    Serial.print("Temperatura: ");
    Serial.print(temp2);
    Serial.print(" Humedad: ");
    Serial.print(hum2);
    Serial.println();

  }
  else
  {
    Serial.println();
    Serial.print("Error Num :");
    Serial.print(err);
    Serial.println();
  }
}

```

```

    }

    delay(1000);          //Recordad que solo lee una vez por segundo
    cont++;
    if (cont==time){
    cont=0;
    pedido=5;
    }
}

if (pedido==5){

    char buffer[25]; // char field
    dtostrf(temp2, 2, 3, buffer);
    String statex = String(buffer);

    dtostrf(hum2, 2, 3, buffer);
    String statey = String(buffer);

    // TCP connection
    String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\", \"";
    cmd += "184.106.153.149"; // api.thingspeak.com
    cmd += "\",80";
    Serial3.println(cmd);
    Serial.println(cmd);

    if(Serial3.find("Error")){
        Serial.println("AT+CIPSTART error");
        return;
    }

    // prepare GET string
    String getStr = "GET /update?api_key=";

```

```
getStr += apiKey3;

getStr += "&field1=";
getStr += String(stateX);
getStr += "&field2=";
getStr += String(stateY);

getStr += "\r\n\r\n";

// send data length
cmd = "AT+CIPSEND=";
cmd += String(getStr.length());
Serial3.println(cmd);
Serial.println(cmd);

if(Serial3.find(">")){
  Serial3.print(getStr);
  Serial.print(getStr);
}
else{
  Serial3.println("AT+CIPCLOSE");
  // alert user
  Serial.println("AT+CIPCLOSE");
}

delay(100);
pedido=6;
}

if(pedido==6){
```



```
tempAX=sensors1.getTempCByIndex(0);  
Serial.print("Temperatura A: ");  
Serial.print(tempAX);  
Serial.println();
```

```
tempBX=sensors2.getTempCByIndex(0);  
Serial.print("Temperatura B: ");  
Serial.print(tempBX);  
Serial.println();
```

```
tempCX=sensors3.getTempCByIndex(0);  
Serial.print("Temperatura C: ");  
Serial.print(tempCX);  
Serial.println();
```

```
tempDX=sensors4.getTempCByIndex(0);  
Serial.print("Temperatura D: ");  
Serial.print(tempDX);  
Serial.println();
```

```
delay(1000);      //Recordad que solo lee una vez por segundo  
cont++;  
if (cont==time){  
cont=0;  
pedido=7;  
}  
}
```

```

if (pedido==7){

    char buffer[25]; // char field
    dtostrf(tempAX, 2, 3, buffer);
    String stateA = String(buffer);

    dtostrf(tempBX, 2, 3, buffer);
    String stateB = String(buffer);

    dtostrf(tempCX, 2, 3, buffer);
    String stateC = String(buffer);

    dtostrf(tempDX, 2, 3, buffer);
    String stateD = String(buffer);

    // TCP connection
    String cmd = "AT+CIPSTART=\\"TCP\\","\\"";
    cmd += "184.106.153.149"; // api.thingspeak.com
    cmd += "\",80";
    Serial3.println(cmd);
    Serial.println(cmd);

    if(Serial3.find("Error")){
        Serial.println("AT+CIPSTART error");
        return;
    }

    // prepare GET string
    String getStr = "GET /update?api_key=";
    getStr += apiKey3;

    getStr += "&field3=";

```

```
getStr += String(stateA);
getStr += "&field4=";
getStr += String(stateB);
getStr += "&field5=";
getStr += String(stateC);
getStr += "&field6=";
getStr += String(stateD);
```

```
getStr += "\r\n\r\n";
```

```
// send data length
cmd = "AT+CIPSEND=";
cmd += String(getStr.length());
Serial3.println(cmd);
Serial.println(cmd);
```

```
if(Serial3.find(">")){
  Serial3.print(getStr);
  Serial.print(getStr);
}
else{
  Serial3.println("AT+CIPCLOSE");
  // alert user
  Serial.println("AT+CIPCLOSE");
}
```

```
delay(100);
pedido=0;
}
```

```
}//llave void loop
```

```

void adc(){

// tomar un número de muestras analógicas y sumarlas
while (sample_count < NUM_SAMPLES) {
    if(adcx==0){
        sum += analogRead(A0);
    }
    if(adcx==1){
        sum += analogRead(A1);
    }
    if(adcx==2){
        sum += analogRead(A2);
    }
    if(adcx==3){
        sum += analogRead(A3);
    }
    if(adcx==4){
        sum += analogRead(A4);
    }
    if(adcx==5){
        sum += analogRead(A5);
    }
    if(adcx==6){
        sum += analogRead(A6);
    }
    if(adcx==7){
        sum += analogRead(A7);
    }
    sample_count++;
    delay(10);
}

// calcular la tensión de utilizar 5,0 para una tensión 5.0V
// ADC de referencia
// 5.015V es la tensión de referencia calibrada

```

```

voltage = ((float)sum / (float)NUM_SAMPLES * 5.015) / 1024.0;
// Envía voltaje para su visualización en tensión Serial Monitor
// multiplicado por 11 cuando se utiliza divisor de tensión que
// divide por 1.358
// 1.358 es el valor calibrado del división de tensión
if (adcx==0){
Serial.print ("ADC 0: ");
s0=(voltage * cte);

}
if (adcx==1){
Serial.print ("ADC 1: ");
s1=(voltage * cte);
}
if (adcx==2){
Serial.print ("ADC 2: ");
s2=(voltage * cte);
}
if (adcx==3){
Serial.print ("ADC 3: ");
s3=(voltage * cte);
}
if (adcx==4){
Serial.print ("ADC 4: ");
s4=(voltage * cte);
}
if (adcx==5){
Serial.print ("ADC 5: ");
s5=(voltage * cte);
}
if (adcx==6){
Serial.print ("ADC 6: ");

```

```

s6=(voltage * cte);
}

if (adcx==7){
Serial.print ("ADC 7: ");
s7=(voltage * cte);
}

Serial.print((voltage * cte), 3);
Serial.println (" V");
sample_count = 0;
sum = 0;
}

```

```

void adc2(){

// tomar un número de muestras analógicas y sumarlas
while (sample_count < NUM_SAMPLES) {
    if(adcx==0){
        sum += analogRead(A8);
    }
    if(adcx==1){
        sum += analogRead(A9);
    }
    if(adcx==2){
        sum += analogRead(A10);
    }
    if(adcx==3){

```

```

sum += analogRead(A11);
}
if(adcx==4){
sum += analogRead(A12);
}
if(adcx==5){
sum += analogRead(A13);
}
if(adcx==6){
sum += analogRead(A14);
}
if(adcx==7){
sum += analogRead(A15);
}
sample_count++;
delay(10);
}
// calcular la tensión de utilizar 5,0 para una tensión 5.0V
// ADC de referencia
// 5.015V es la tensión de referencia calibrada

voltage = ((float)sum / (float)NUM_SAMPLES * 5.015) / 1024.0;
// Envía voltaje para su visualización en tensión Serial Monitor
// multiplicado por 11 cuando se utiliza divisor de tensión que
// divide por 1.358
// 1.358 es el valor calibrado del división de tensión
if (adcx==0){
Serial.print ("ADC 8: ");
s8=(voltage * cte);

}
if (adcx==1){
Serial.print ("ADC 9: ");

```

```

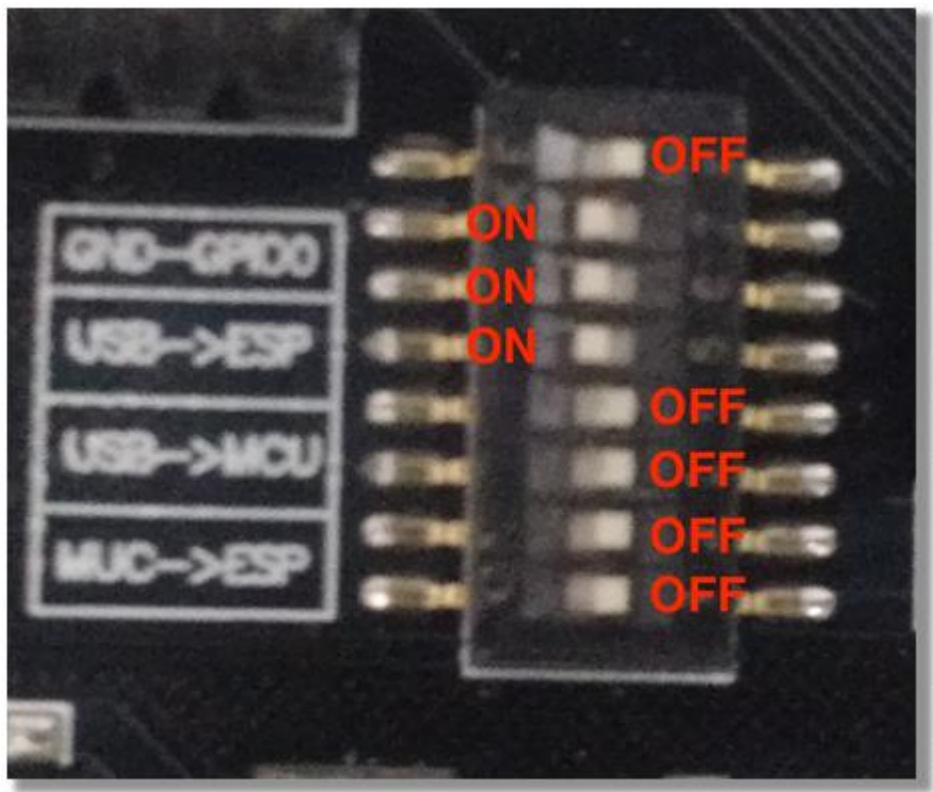
s9=(voltage * cte);
}
if (adcx==2){
Serial.print ("ADC 10: ");
s10=(voltage * cte);
}
if (adcx==3){
Serial.print ("ADC 11: ");
s11=(voltage * cte);
}
if (adcx==4){
Serial.print ("ADC 12: ");
s12=(voltage * cte);
}
if (adcx==5){
Serial.print ("ADC 13: ");
s13=(voltage * cte);
}
if (adcx==6){
Serial.print ("ADC 14: ");
s14=(voltage * cte);
}

if (adcx==7){
Serial.print ("ADC 15: ");
s15=(voltage * cte);
}

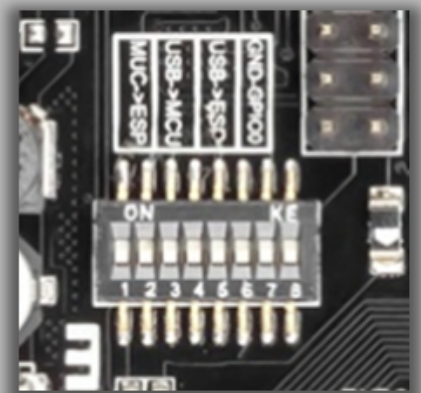
Serial.print((voltage * cte), 3);
Serial.println (" V");
sample_count = 0;
sum = 0;
}

```

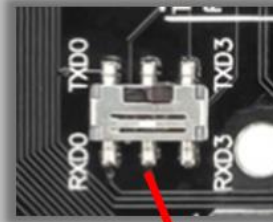
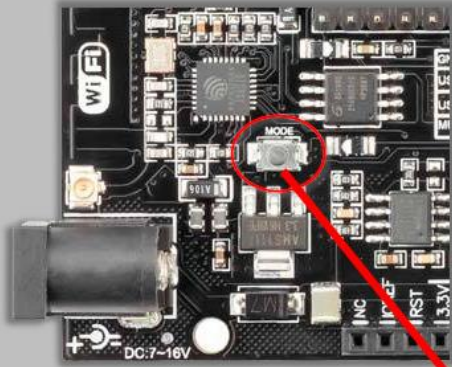

ANEXO 4. Configuración de puertos de modulo y sensor



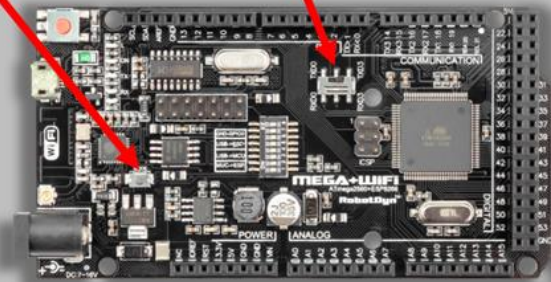
	1	2	3	4	5	6	7	8
CH340 connect to ESP8266 (upload sketch)	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	NoUSE
CH340 connect to ESP8266 (connect)	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF	NoUSE
CH340 connect to ATmega2560 (upload sketch)	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF	NoUSE
CH340 connect to Mega2560 COM3 connect to ESP8266	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	NoUSE
Mega2560+ESP8266	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	NoUSE
All modules work independed	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	NoUSE



Pressionar para gravar o ESP8266



Muda a porta serial do Arduino Mega que se conecta ao ESP8266



Pin Configurations

