



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM VALLE DE MÉXICO

**GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE
ORGANISMOS VEGETALES DE USO DOMÉSTICO**

TESIS

Que para obtener el Título de

INGENIERO INDUSTRIAL

P r e s e n t a

C. Keiry Cruz Jácome

**Asesor: Dr. en C. en Met. y Mat. Héctor Herrera Hernández
Co-asesor: Dr. en C. en Ing. Elect. Carlos Omar González
Morán**



Atizapán de Zaragoza, Edo. de Méx. Junio 2024

RESUMEN

Actualmente la energía eléctrica se ha convertido en uno de los temas más discutidos debido a su necesidad que esta representa para el desarrollo de cualquier sociedad, esta es la encargada de permitir el funcionamiento a la mayoría de los instrumentos y equipos empleados en todas las actividades cotidianas e industriales del ser humano, sin embargo muy pocas veces se tiene una reflexión a conciencia sobre los altos niveles de contaminación que se generan durante el proceso de obtención de este servicio; es por ello que se busca implementar nuevas tecnologías que generen energías más limpias y amigables con el medio ambiente.

El objetivo principal de esta investigación de licenciatura es proponer una alternativa en la generación de energía eléctrica mediante el uso de las plantas u organismos vegetales que se encuentran en el hogar, para esto se desarrolló un prototipo demostrativo derivado de la experiencia en investigación y de la consulta biográfica de las diferentes fuentes de energía renovables que existen tanto a nivel mundial como a nivel nacional así como la experimentación con distintos tipos de plantas comunes en la región y materiales conductores de mayor uso, que permitan obtener una mayor cantidad de energía considerando que todos los materiales utilizados sean de fácil adquisición.

Así mismo, mediante el presente trabajo se busca difundir los resultados obtenidos del proceso de experimentación e investigación para lograr concientizar que más personas se interesen por el uso y generación de energías renovables, así mismo de una manera responsable disminuir los altos niveles de contaminación que existen y el uso de la energía obtenida de compañías como la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

ABSTRACT

Currently electric energy has become one of the most discussed topics due to its need that it represents for the development of any society, it is responsible for allowing the operation of most of the instruments and equipment used in all the daily and industrial activities of the human being, however very rarely there is a conscientious reflection on the high levels of pollution that are generated during the pandemic (COVID-19). The process of obtaining this service; That is why it seeks to implement new technologies that generate cleaner and more environmentally friendly energies.

The main objective of this research is to propose an alternative in the generation of electrical energy through the use of plant organisms found in the home, for this a demonstrative prototype was developed derived from the biographical search of the different renewable energy sources that exist both worldwide and nationally as well as the experimentation with different types of plants common in the region and materials conductors, which allow a greater amount of energy to be obtained, considering that all the materials used are easily accessible. However, this work seeks to spread-out the results obtained at the end of the experimentation and research process to get more people interested in the use and apply the generation of renewable energies, and then reduce the high levels of pollution that exist actually and the use of the energy obtained by the Federal Electricity Commission (CFE).

CONTENIDO

1. Introducción	1
2. Planteamiento del problema	2
3. Justificación.....	3
4. Objetivo General	4
4.1 Objetivos Específicos	4
5. Hipótesis	5
6. Metodología	6
6.1 Etapas del Desarrollo Experimental	7
7. Antecedentes	15
7.1 Fuentes de Energía	15
7.2 Propiedades de la Energía	16
7.3 Fuentes de Energía No Renovables	16
7.4 Principales Fuentes de Energía No Renovable	17
7.5 Ventajas y Desventajas de las Energías No Renovables	20
7.6 Fuentes de Energía Renovables.....	20
7.7 Principales Fuentes de Energía Renovable	20
7.8 Ventajas y Desventajas de las Energías Renovables	26
7.9 Energía eléctrica a través de organismos vegetales	27
7.10 Antecedentes de la energía fotosintética	30
7.11 Pila de Combustible Microbiana Vegetal	31
7.12 La diversidad en México	33
7.13 La radiación solar	34
7.14 Influencia de la luz solar en el crecimiento de las plantas	36
7.15 Arduino Uno	36
7.16 Programación en Arduino.....	38
7.17 Multímetro	39
7.18 Funcionamiento Teórico	40
7.19 Multímetro Digital	42
8. Desarrollo Experimental	45
8.1 Etapa 1: Identificación de los organismos vegetales de estudio	47

8.2 Etapa 2: Elaboración de Prototipos	65
8.3 Etapa 3: Recolección manual y análisis de datos	73
8.4 Etapa 4: Recolección y análisis de datos mediante la Implementación de Arduino ...	80
9. Análisis de Resultados	89
10. Conclusiones	94
11. Referencias Bibliográficas	96
12. Glosario	100
13. Anexos	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 6.1. Electrodo base de acero inoxidable con embobinado de cobre y aluminio.....	08
Figura 6.2. Prototipo 1 Celda eléctrica con electrodos de cilindros sólidos.....	10
Figura 6.3. Prototipo 2 Celda eléctrica con ánodo de espiral y cátodo de rejilla	11
Figura 6.4. Prototipo 3 Celda eléctrica con tubo de aluminio y tubo de cobre	11
Figura 6.5. Prototipo 4 Celda eléctrica compuesta por láminas de metal	12
Figura 6.6. Prototipo 5 Celda eléctrica de láminas externas de cobre y aluminio.....	12
Figura 6.7. Imagen representativa del prototipo final	13
Figura 6.8. Prototipo demostrativo conectado al circuito en serie de 14 ejemplares	14
Figura 7.1. Clasificación de las fuentes de energía (Colino, 2004).....	15
Figura 7.2. Refinería ubicada en Paraíso, Tabasco (Notimex, 2010).	17
Figura 7.3. Mina de carbón a cielo abierto (Valora, 2003).	18
Figura 7.4. Imagen representativa de una Central Nuclear (Viqueira, 2012).....	19
Figura 7.5. La célula solar fotovoltaica (Schallenberg y Hernández, 2008)	21
Figura 7.6. Estructura de una Aero turbina (Schallenberg y Hernández, 2008).....	23
Figura 7.7. Imagen presentativa de una Central Hidráulica (Schallenberg y Hernández, 2008). ...	24
Figura 7.8. Proceso para la obtención de energía Geotérmica (CFE, 2022)	25
Figura 7.9. Proceso representativo de la obtención de Biomasa (Schallenberg y Hernández, 2008)	26
Figura 7.10. Imagen representativa del proceso de fotosíntesis (Ocampo, 2014).....	28
Figura 7.11. Imagen representativa de la fase luminosa y la fase oscura (Ocampo, 2014).....	29
Figura 7.12. Pila de combustible microbiana vegetal (Morales, 2022).....	31
Figura 7.13 Mapa Geográfico de los Países Megadiversos. (Mittermeiner, 1988)	33
Figura 7.14. Imagen representativa del Espectro de onda (Guardiola y García, 1990).....	34
Figura 7.15. Porcentaje de dispersión de la energía que ingresa en la atmosfera (Steven y Ledesma, 2019)	35
Figura 7.16. Componentes de la Tarjeta Arduino Uno (Vital,2021).....	37
Figura 7.17. Multímetro diseñado por el ingeniero Macadie (Hernández,2020).	39
Figura 7.18. Diseño del Circuito de Amperímetro (Coello, 2012).....	40
Figura 7.19. Diseño del Circuito de Voltímetro (Coello, 2012)	41
Figura 7.20. Diseño del Circuito de Óhmetro (Coello, 2012).....	41
Figura 7.21. Componentes del multímetro digital (Universidad de Buenos Aires, 2020)	43
Figura 8.1. Diagrama de flujo del diseño metodológico.	45

Figura 8.2. Electrodo base de acero inoxidable con embobinado de cobre y aluminio.....	46
Figura 8.3. Prueba demostrativa de una celda sin organismo vegetal (planta)	46
Figura 8.4. Prueba demostrativa de una celda con organismo vegetal (planta)	47
Figura 8.5. Imagen representativa de la Planta POTO (<i>Epipremnum aureum</i>).....	48
Figura 8.6. Lectura del Voltaje de la Planta Poto.	49
Figura 8.7. Lectura de Corriente de la Planta Poto.	49
Figura 8.8. Imagen representativa de la Planta CINTA (<i>Chlorophytum comosum</i>)	50
Figura 8.9. Lectura del Voltaje de la Planta Cinta.	51
Figura 8.10. Lectura de Corriente de la Planta Cinta.	51
Figura 8.11. Imagen representativa de la Planta LIRIO DE LA PAZ (<i>Spathiphyllum</i>).....	52
Figura 8.12. Lectura del Voltaje de la Planta Lirio de la Paz.	53
Figura 8.13. Lectura de Corriente de la Planta Lirio de la Paz.	53
Figura 8.14. Imagen representativa de la Planta LAVANDA (<i>Lavandula angustifolia</i>)	53
Figura 8.15. Lectura del Voltaje de la Planta Lavanda.	55
Figura 8.16. Lectura de Corriente de la Planta Lavanda.	55
Figura 8.17. Imagen representativa de la Planta SINGONIO (<i>Syngonium podophyllum</i>).....	56
Figura 8.18. Lectura del Voltaje de la Planta Singonio.	57
Figura 8.19. Lectura de Corriente de la Planta Singonio.	57
Figura 8.20. Imagen representativa de la Planta CAMEDOR DE CAMBRAY (<i>Chamaedorea elegans</i>)	58
Figura 8.21. Lectura del Voltaje de la Planta Camedor de Cambray	58
Figura 8.22. Lectura de Corriente de la Planta Camedor de Cambray.....	59
Figura 8.23. Imagen representativa de la Planta MARGARITA (<i>Bellis perennis</i>).....	59
Figura 8.24. Lectura del Voltaje de la Planta Margarita.	60
Figura 8.25. Lectura de Corriente de la Planta Margarita.	60
Figura 8.26. Imagen representativa del PINO ENANO (<i>Pinus culminicola</i>).....	61
Figura 8.27. Lectura del Voltaje del Pino Enano.	62
Figura 8.28. Lectura de Corriente del Pino Enano.	62
Figura 8.29. Imagen representativa de la PLANTA ALCATRAZ (<i>Zantedeschia aethiopica</i>)	63
Figura 8.30. Lectura del Voltaje de la Planta Alcatraz.	63
Figura 8.31. Lectura de Corriente de la Planta Alcatraz.	64
Figura 8.32. Prototipo 1 celda eléctrica con electrodos de cilindros sólidos.	66
Figura 8.33. Modelos representativos del Prototipo 1	67
Figura 8.34. Imagen representativa del Ánodo espiral de alambre de cobre	67
Figura 8.35. Imagen representativa del Cátodo malla de acero con alambre de aluminio	68

Figura 8.36. Prototipo 2 celda eléctrica compuesta por un ánodo de espiral y cátodo de rejilla ...	68
Figura 8.37. Modelos representativos del Prototipo 2	69
Figura 8.38. Prototipo 3 celda eléctrica con tubo de aluminio y tubo de cobre	69
Figura 8.39. Modelos representativos del Prototipo 3.....	70
Figura 8.40. Prototipo 4 celda eléctrica con láminas de metal	70
Figura 8.41. Modelos representativos del Prototipo 4.....	71
Figura 8.42. Prototipo 5 celda eléctrica con láminas externas de cobre y aluminio	71
Figura 8.43. Modelos representativos del Prototipo 5.....	72
Figura 8.44. Gráfica de datos Lecturas de voltaje del prototipo 1	73
Figura 8.45. Gráfica de datos Lecturas del Voltaje del Prototipo 2	75
Figura 8.46. Gráfica de datos Lectura del Voltaje del Prototipo 3.....	76
Figura 8.47. Gráfica de datos Lectura del Voltaje del Prototipo 4	77
Figura 8.48. Gráfica de datos Lectura del Voltaje del Prototipo 5.....	78
Figura 8.49. Sketch para la Medición del Voltaje	80
Figura 8.50. Conexión Física para la Medición del Voltaje.....	81
Figura 8.51. Grafica de Voltaje del Prototipo 1.	82
Figura 8.52. Sensor DHT11	83
Figura 8.53. Pines del Sensor DHT11.....	83
Figura 8.54. Diagrama base de la Conexión del Sensor DHT11	84
Figura 8.55. Conexión Física del Sensor DHT11	84
Figura 8.56. Sketch Sensor DHT11	85
Figura 8.57. Monitor Serial Sensor DHT11	85
Figura 8.58. Sketch Medición de Voltaje, Temperatura y Humedad del Prototipo 1	86
Figura 8.59. Gráfica del Voltaje del Prototipo 1	88
Figura 9.1 Conexión en serie	89
Figura 9.2 Voltaje obtenido de la conexión en serie de 8 ejemplares	90
Figura 9.3 Voltaje obtenido de la conexión en serie de 14 ejemplares	90
Figura 9.4 Imagen representativa del LED	91
Figura 9.5 Imagen representativa del Prototipo Demostrativo.....	91
Figura 9.6 Prototipo Demostrativo conectado únicamente por el polo negativo	92
Figura 9.7 Prototipo Demostrativo conectado al circuito en serie de 14 ejemplares	92
Figura 9.8 Presencia de Oxidación en los tornillos usados como electrodos.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6.1. Resultados del Análisis del voltaje y corriente de las plantas de uso doméstico	09
Tabla 7.1 Ventajas y Desventajas de las Energías No Renovables	20
Tabla 7.2 Ventajas y Desventajas de las Energías Renovables.	26
Tabla 8.1 Resultados del Análisis del voltaje y corriente	64
Tabla 8.2 Lectura del Voltaje del Prototipo 1	72
Tabla 8.3 Lectura del Voltaje del Prototipo 2	73
Tabla 8.4 Lectura del Voltaje del Prototipo 3	74
Tabla 8.5 Lectura del Voltaje del Prototipo 4	75
Tabla 8.6 Lectura del Voltaje del Prototipo 5	76
Tabla 8.7 Voltaje del Prototipo 1 Obtenido Mediante Arduino	80
Tabla 8.8 Análisis Estadística del Voltaje Prototipo 1	80
Tabla 8.9 Voltaje, Temperatura y Humedad del Prototipo 1.	86
Tabla 8.10 Análisis Estadístico del Voltaje Prototipo 1	87



INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la energía eléctrica se ha convertido en una parte fundamental en la vida del ser humano, por su presencia en la mayoría de las actividades cotidianas, desde encender un foco, recargar la batería de un teléfono celular o una computadora y hasta el funcionamiento de la mayoría de los equipos de trabajo que se encuentran en el sector industrial, sin embargo, muy pocas veces se tiene una reflexión cognitiva de los impactos que tiene la generación de la energía sobre el entorno ambiental, al existir muy pocas alternativas de energías renovables o metodologías de generación de energía a las cuales se pueda acceder de manera fácil e inmediata.

Comúnmente se le da el término de electricidad a la energía que se desarrolla mediante un mecanismo de movimiento entre electrones de la capa externa de los átomos que existen en la superficie de los materiales conductores; cuando las cargas eléctricas se mueven a través de un medio conductor se genera lo que se conoce como corriente eléctrica y esta se origina al poner en contacto dos elementos/materiales que tengan una diferencia de potencial dV (VIQUEIRA, 2012).

En este sentido existen una gran cantidad de alternativas para lograr la generación de electricidad, las cuales dependiente de su fuente de obtención se pueden clasificar en energías renovables y en energías no renovables (PERALES, 2012); siendo las más utilizadas las energías no renovables como el petróleo o la energía nuclear debido a los resultados que estas proveen, sin embargo, cada una de ellas presenta distintas cualidades que hacen que su implementación sea difícil de lograr de manera cotidiana, ya sea por los materiales que se requieren o por la complejidad de su instalación, teniendo en cuenta lo anterior las energías renovables presentan una ventaja mayor para la implementación cotidiana.

Debido a esto se ha empezado a estudiar e implementar nuevos métodos mediante los cuales se pretende aprovechar los recursos naturales inagotables como el sol, el viento, el agua, etc., asegurando así la obtención de energía eléctrica limpia que además de contribuir a la conservación del medio ambiental en el que el ser humano se desarrolla proporciona una alternativa para mejorar la economía de este.

En la presente investigación se pretende dar a conocer un mecanismo viable en la generación de energía eléctrica mediante el uso de las plantas domesticas con el fin de promover e incentivar el uso de las energías renovables. De esta manera se contribuye a la disminución de los altos niveles de contaminación ambiental además de lograr la preservación de la flora existente en la región, puesto que esta representa el elemento fundamental para la obtención de la energía eléctrica.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con la última edición del Seguimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS): Informe sobre los avances en materia de energía, publicado por el Organismo Internacional de Energía (OIE), La Agencia Internacional de Energías Renovables, la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Banco Mundial y la División de Estadística de las Naciones Unidas publicado en el año 2020, durante la década del 2010 se reportaron mil doscientos millones de personas que no tenían acceso a la energía eléctrica, siendo este número controlado debido a los avances tecnológicos en la última década obteniendo así una reducción del 34.25%, pasando así de 1200 millones a 789 millones; pese a los grandes avances logrados antes de la crisis económica provocada por la pandemia (COVID-19), no es posible garantizar el acceso a energías sostenibles, seguras y modernas para toda la población a nivel mundial.

Luis Pedrero Ojeda, Dr. en Física por el Instituto Max Planck ubicado en Alemania, expuso que México posee un gran potencial para la utilización de energías limpias renovables debido a sus condiciones geográficas, mencionando que se pueden construir más parques solares, porque en el centro y norte del país los niveles de radiación son mayores en comparación con el resto del territorio mexicano; por año se tienen alrededor del 95% de radiación solar, según lo comenta González, 2021 en su investigación.

Si bien en el último informe anual enviado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) al Senado en 2021, México tiene 1,015 millones de habitantes que no tienen acceso a la energía eléctrica, siendo los estados de Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Jalisco y Guerrero, los cuales representan el 44% del total, demostrando el poco aprovechamiento de los recursos que se utilizan como fuente principal para la implementación de las energías renovables (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 2022). Para contrarrestar esta problemática social se promueve el uso de fuentes alternativas con las cuales se logre proveer de energía eléctrica a comunidades precarias que no cuenten con la infraestructura y recursos necesarios para tener acceso a las energías no renovables o de uso común. Para esto, existen diversas tecnologías que serán utilizadas dependiendo de las características de la población en la cual se implementará, estas pueden ser las siguientes: desarrollo de plantas hidráulicas, desarrollo de estaciones eólicas, uso de residuos agropecuarios y forestales para la generación de la electricidad, así como la generación de biogás en los tiraderos municipales. No obstante, una nueva alternativa de generación de energía eléctrica y de la cual existe poca evidencia en la literatura y sitios WEB es la generación de electricidad mediante el uso de organismos orgánicos llamados plantas, estas captan mediante sus hojas la energía proveniente del sol, que se transfiere por radiación transformándola en energía eléctrica mediante el proceso de la fotosíntesis, para finalmente liberarla por medio de las raíces obteniendo de esta manera una energía más limpia a un costo accesible para toda la población. (COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, 2022).

3. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, la humanidad se ha enfrentado a un incremento acelerado en la producción de bienes y servicios para satisfacer sus necesidades, sin embargo, esto representa a su vez un aumento en el consumo energético, y por consiguiente el incremento desmesurado de las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al llamado cambio climático. De acuerdo con la Organización Greenpeace, se le denomina cambio climático a la modificación de la temperatura y del resto de variables del clima consecuencia de los altos niveles de gases de efecto invernadero producidos por la quema de combustibles fósiles, aunque a simple vista los impactos son poco perceptibles, datos expuestos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) establecen que la temperatura media mundial ha tenido un incremento del 1.11 ± 0.13 °C desde la época preindustrial convirtiendo a sí a la década del 2011 al 2020 como la más cálida jamás registrada (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION , 2023).

El sector energético se ha convertido en uno de los contribuidores principales al calentamiento global debido al uso de energías no renovables como el petróleo, carbón y gas convirtiendo así al cambio climático en una realidad inevitable, pero con la posibilidad de minimizar sus consecuencias; es por esto por lo que las energías renovables se han convertido en la principal esperanza a nivel mundial para lograr la reducción de gases de efecto invernadero y con esto contrarrestar el impacto ambiental.

Mientras tanto, diversos estudios realizados a nivel mundial han posicionado a la energía eléctrica obtenida de las plantas como una alternativa que no solo contribuye a la disminución de los gases de efecto invernadero sino también al impacto ambiental puesto que para lograr la generación esta es necesario contar con un sistema de plantas que provean la energía necesaria. Sin embargo, el sistema de plantas deberá incrementar el número de ejemplares dependiendo de los niveles de energía eléctrica que se quieren obtener, para la presente investigación se planteó experimentar con diferentes circuitos conformados por un aproximado de 15 a 20 plantas con la finalidad de obtener el voltaje necesario para encender un circuito eléctrico conformado por cuatro dispositivos LED tal como lo señala Zamora, 2017. En su trabajo de investigación.

Lo anterior permitirá que el circuito sea fácil de replicar logrando así que más personas puedan conocer y acceder a esta nueva fuente de energía alternativa, además de poner en práctica conocimientos en el ámbito de la electrónica y las propiedades de los distintos materiales; esta investigación demuestra que los avances tecnológicos pueden contribuir a la preservación de la flora que existe en nuestro medio y a su vez a la disminución de los niveles de gases de efecto invernadero producidos por la combustión de materiales fósiles, todo esto para la preservación del equilibrio ecológico.

4. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y generar un sistema capaz captar los electrones y protones liberados en el sustrato de las plantas para la generación de energía eléctrica.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Clasificar diferentes tipos de plantas y materiales conductores.
2. Experimentar con diferentes tipos de plantas y materiales conductores para determinar los recursos que permitan generar la mayor cantidad de energía eléctrica.
3. Diseñar y construir celdas eléctricas (macetas) para su evaluación.
4. Implementar un circuito con Arduino Uno que facilite la recolección de datos.
5. Evaluar la generación de energía mediante la elaboración de un circuito conformado por cuatro elementos LED.
6. Experimentar y analizar los factores influyentes monitoreados por Arduino Uno.

5. HIPÓTESIS.

La realización de la investigación permitirá demostrar que, los organismos vegetales liberan cargas eléctricas que pueden ser captadas y utilizadas para permitir el funcionamiento de un circuito eléctrico conformado por cuatro dispositivos LED.



METODOLOGÍA

6. METODOLOGÍA

En esta sección, se describe el procedimiento y materiales necesarios para llevar a cabo la investigación y experimentación que permite lograr la generación de energía eléctrica, todo esto siguiendo la metodología Top-Down en la cual un problema inicial se divide en subproblemas más pequeños con la finalidad de obtener soluciones rápidas y sencillas que en conjunto permita solucionar con mayor eficiencia el problema principal:

- Investigación general sobre la generación de energía mediante fuentes renovables y no renovables: Se realizó una consulta de diversas fuentes bibliográficas, para así tener una contextualización de la generación, distribución, importancia e impacto ambiental que tienen las energías renovables y no renovables tanto a nivel nacional como mundial.
- Consulta bibliográfica de los fundamentos de la electrónica: se realizó una investigación sobre todos los aspectos técnicos que son necesarios durante la etapa experimental y análisis de datos reforzando de esta manera los conocimientos adquiridos durante la carrera, además de facilitar las actividades que se realizarán tales como la implementación de un sistema con Arduino Uno además de la selección de los materiales utilizados para la elaboración de los electrodos encargados de captar los electrones y protones liberados durante el proceso de fotosíntesis de las plantas.
- Investigación de proyectos previos, en los cuales se estudie y se comprenda la generación de energía mediante la utilización de organismos vegetales: Se realizó una investigación para determinar los diversos métodos y técnicas utilizados anteriormente para lograr la generación de la energía proporcionando una base para el proceso de experimentación.
- Desarrollo experimental: con la ayuda de un multímetro (dispositivo para medir varias variables eléctricas) se realiza un análisis de la fauna para determinar los mejores ejemplares que proporcionen un alto nivel de voltaje, para posteriormente desarrollar distintos prototipos que contengan dos electrodos que logren la atracción de estos y utilizarlos para la generación de energía eléctrica considerando que todos los ejemplares deben ser de fácil cuidado y ser sometidos a las mismas condiciones ambientales .
- Determinación del prototipo óptimo que proporcione una mayor cantidad de energía: una vez elaborados los distintos prototipos con ayuda de un multímetro se recabaron de manera manual los niveles de voltaje generados por cada uno de estos.

Posteriormente, se desarrolló un sistema con Arduino Uno capaz de monitorear y registrar de manera automática todos los niveles de voltaje generados considerando factores como la temperatura y humedad a lo largo del día.

Finalmente se analizaron todos los datos recabados durante el desarrollo experimental para así determinar que diseño y organismos vegetales proporcionan un mayor nivel de voltaje para realizar un circuito eléctrico final capaz de encender el prototipo constituido por cuatro elementos LED.

- Elaboración de un circuito demostrativo: una vez que se determinó el diseño de las celdas de medición (macetas) y los organismos vegetales (plantas) óptimos se diseñó un circuito serial conformado por distintos ejemplares del prototipo seleccionado; el cual al ser conectado con el elemento LED demuestra la captación de energía eléctrica proveniente de los electrones liberados durante en el sustrato de las plantas.

6.1 ETAPAS DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL

Etapas 1 “Análisis de la Biodiversidad”: con ayuda de las diversas fuentes de información se realizó un análisis de los factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas; posteriormente con el apoyo de un multímetro digital se realizaron pruebas en nueve plantas de uso doméstico, evaluando los niveles de voltaje y corriente producidos para determinar el tipo de organismos que serán empleados durante el proceso de experimentación exponiendo sus características y cuidados para garantizar que estos sean de fácil acceso para la población y cuyos cuidados sean mínimos para facilitar la manipulación y experimentación en estas.

Inicialmente se seleccionaron los siguientes ejemplares de los organismos vegetales: poto, cinta, lirio de la paz, lavanda, singonio, Camador, margarita, pino enano y alcatraz.

- Poto: pertenece al género Pothos conocida científicamente como *Epipremnum aureum* reconocida por su capacidad de purificar el aire, absorbiendo y eliminando las sustancias tóxicas que se encuentran en el entorno
- Cinta: perteneciente a la familia Agavaceae es una planta de interior y exterior con hojas largas y verdes originaria de las regiones tropicales.
- Lirio de la Paz: también conocida como vela blanca, forma parte de la familia de las araceae y es originaria de las zonas tropicales del continente americano la cual posee unas frondosas hojas verdes y delicadas hojas blancas.
- Lavanda: es una especie del reino vegetal considerada como un arbusto aromático cuya mayor característica yace en sus pequeñas flores de tonalidades lila y azuladas.
- Singonio: es una planta ornamental caracterizada por sus grandes hojas en forma de corazón.

- Camedor de Cambray: es una especie de pequeña palmera perteneciente a la familia Arecaceae con una altura de hasta 2 metros de altura con tallos delgados; sus flores surgen del tronco como brotes laterales y se abren en forma de racimos de pequeñas bolitas, sin pétalos ni un color especial.
- Margarita: es una planta que suele florecer de forma abundante durante la primavera y hasta la llegada del verano, puede llegar a medir entre 0.50 a 1.50 metros de altura con una flor fácil de identificar por sus pétalos blancos.
- Pino Enano: es una especie que se planta en maceta y no suele alcanzar más de 3 metros de altura, caracterizado por su lento además de poseer una hojas largas, verdes, delgadas y puntiagudas como si fueran agujas.
- Alcatraz: la *Zantedeschia Aethiopica* es un organismo vegetal nativo del sur de África, la cual posee grandes hojas verdes esmeralda brillantes en forma de flecha y un racimo de flores rodeado por una hoja de bráctea blanca.

Para la realización de las pruebas se emplearon como electrodos base, dos tornillos de acero inoxidable como los mostrados en la Figura 6.1; sobre uno de ellos se realizó un embobinado con aproximadamente 4 metros alambre de cobre de 0.1 mm, mientras que en segundo tornillo se realizó un embobinado similar usando 4 metros de alambre de aluminio de 0.1mm de diámetro.



Figura 6.1. Electrodos base de acero inoxidable con embobinado de cobre y aluminio

Obteniendo como resultado los datos expuestos en la Tabla 6.1; por lo tanto, los ejemplares utilizados para la elaboración de los prototipos utilizados durante el proceso de experimentación serán: el lirio de la paz que presento un voltaje de 100 mV y una corriente de 80 mA, el singonio con voltaje de 140 mV y corriente de 30 mA y finalmente la margarita con voltaje de 110 mV y corriente de 60 mA.

Tabla 6.1. Resultados del análisis del voltaje y corriente de las plantas de uso doméstico.

EJEMPLAR	VOLTAJE (mV)	CORRIENTE (mA)
POTO	40	30
CINTA	50	30
LIRIO DE LA PAZ	100	80
LAVANDA	80	20
SINGONIO	140	30
CAMEDOR DE CAMBRAY	70	20
MARGARITA	110	60
PINO ENANO	90	30
ALCATRAZ	50	20

Etapla 2 “Elaboración de prototipos”: Para lograr la obtención de la energía producida de las plantas se deben utilizar dos elementos conductores denominados ánodo y cátodo los cuales siguiendo el principio de la reacción redox captarán los electrones que se liberan durante el proceso; estos electrodos se colocan directamente en el sustrato siempre considerando que debe haber una separación considerable entre estos.

Con los organismos que fueron seleccionados durante la etapa 1 se elaborarán distintos prototipos (celdas eléctricas) para así evaluar la influencia de los materiales utilizados como electrodos que captarán la energía.

- 1) Prototipo 1: Se encuentra diseñado por dos tornillos de acero con recubrimiento galvanizado cuyo diámetro es de $\frac{1}{2}$ " (13 mm) y un largo de $1 \frac{1}{2}$ " (38mm). Uno de ellos (cátodo) se encuentra cubierto de alambre de cobre esmaltado de 0.1 mm y con una longitud de 4 m; el segundo tornillo (ánodo) se encuentra cubierto por alambre de aluminio esmaltado de 0.1 mm y con una longitud de 4 m.

En un contenedor de 12 cm de alto y un diámetro de 16 cm se coloca como sustrato tierra vegetal combinada con hojarasca hasta llenar aproximadamente 5 cm de la esta, luego se coloca la planta cuidando no dañar la raíz y se procede a rellenar el faltante del contenedor con el resto de la tierra vegetal hasta conseguir que las raíces se encuentren cubiertas correctamente. Los electrodos son enterrados en forma paralela dentro de la celda cuidando que todo el embobinado quede dentro de la tierra vegetal como se muestra en la Figura 6.2, a este prototipo se le conoce como celda eléctrica (maceta).

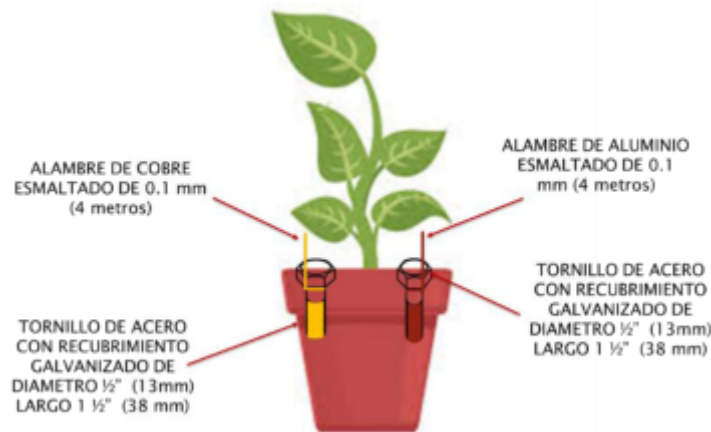


Figura 6.2. Prototipo 1 Celda eléctrica con electrodos de cilindros sólidos.

- 2) Prototipo 2: Este se conforma por un espiral de alambre de cobre esmaltado de 0.1 mm de diámetro y con una longitud de 6 metros, mientras que el cátodo se encuentra compuesto por una malla hexagonal de acero galvanizado de calibre 22 con forma de círculo cuyo diámetro es de 10 cm, a dicha pieza se encuentra soldado un alambre de aluminio esmaltado de 0.1 mm de una longitud de 25 cm. La malla o rejilla se encuentra colocada en el fondo de la celda permitiendo que el alambre de aluminio salga a superficie, dicha malla es cubierta con la combinación de tierra vegetal y hojarasca para posteriormente colocar el espiral de alambre de cobre. Entre ambos materiales debe existir una separación de 10 cm aproximadamente y estos deben salir a la superficie de manera paralela, se coloca la planta sobre estos cuidando la raíz tenga la posición correcta; finalmente se rellena el restante de la celda con la tierra vegetal previamente humedecida con agua natural para así garantizar una adaptación rápida de la planta. De esta manera el Prototipo 2 deberá estar constituido tal como se observa en la Figura 6.3.



Figura 6.3. Prototipo 2 Celda Eléctrica con ánodo de espiral y cátodo de rejilla.

- 3) Prototipo 3: Para la elaboración de este prototipo se sigue el mismo procedimiento realizado para la elaboración del prototipo 1, sin embargo, los electrodos que son incrustados en el sustrato tienen diferente geometría, estos se muestran en el diagrama de la Figura 6.4, se encuentran compuestos por dos tubos: un tubo cobre de $\frac{1}{2}$ "de diámetro y con una longitud de 17 cm, de forma paralela se incrusta un tubo de aluminio de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 18 cm de largo.

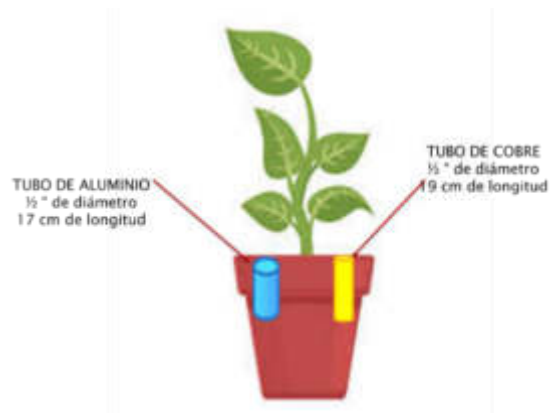


Figura 6.4. Prototipo 3, celda eléctrica con tubo de aluminio y tubo de cobre.

- 4) Prototipo 4: Como se muestra en la Figura 6.5 este prototipo se encuentra compuesto por una lámina de cobre de 18 cm de longitud y 5 cm de ancho, la cual es colocada de manera paralela a una lámina de aluminio de 17 cm de longitud y 5 cm de ancho; dichas láminas son incrustadas en el sustrato de una celda elaborada siguiendo el mismo procedimiento del prototipo 1.

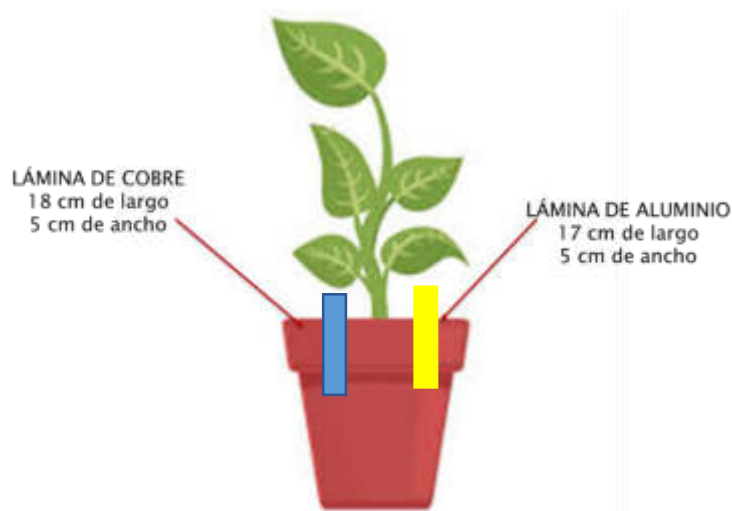


Figura 6.5. Prototipo 4 celda eléctrica compuesta por láminas de metal.

- 5) Prototipo 5: Como se representa en el diagrama de la Figura 6.6. se encuentra conformado por una lámina de cobre de 17 cm de longitud y 5 cm de ancho sujeta por la parte exterior de la maceta por dos tornillos de acero galvanizado; de forma paralela se coloca una lámina de aluminio de 18 cm de largo y 5 cm de ancho, sujeta por dos tornillos de acero galvanizado.

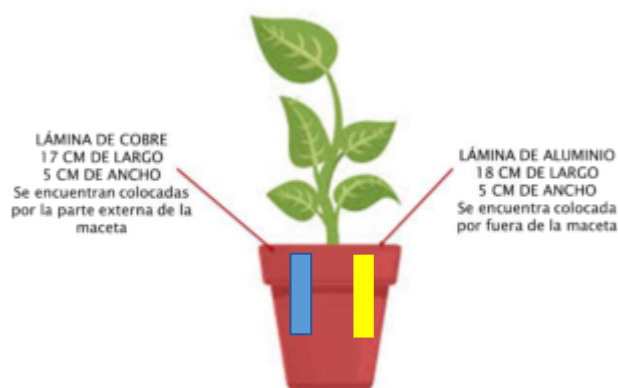


Figura 6.6. Prototipo 5, celda eléctrica de láminas externas de cobre y aluminio.

Etapas 3 “Recolección manual y análisis de datos”: Se realizaron cinco ejemplares de cada uno de los prototipos experimentales (celdas eléctricas), a los cuales se les proporcionaron los mismos cuidados y fueron sometidos a las mismas condiciones ambientales para posteriormente con el apoyo de un multímetro recabar de manera manual los niveles de voltaje de cada uno de los prototipos en distintas horas del día.

Etap 4 “Recolección y análisis de los datos obtenidos mediante la implementación de Arduino”:

se implementó un circuito electrónico mediante el cual los niveles de voltaje fueron registrados de manera automática considerando factores ambientales como la humedad y temperatura para después ser comparados con los datos obtenidos durante la etapa 3.

Al finalizar el análisis se concluyó que el prototipo 1 consigue una mayor captación de energía en comparación con los otros prototipos empleados, además de proporcionar mejores condiciones para el desarrollo de las raíces de las plantas puesto que el diseño de los electrodos empleados no obstruye el desarrollo de estas, por lo que este será utilizado para la elaboración del circuito demostrativo.

Etap 5 “Prototipo demostrativo”: Para demostrar la generación de energía se diseñaron dos circuitos. El primer circuito se encuentra conforma por 14 ejemplares del prototipo 1, todos los ejemplares se conectaron de forma paralela mientras que en el circuito dos estos se conectaron en serie para de esta manera evaluar cual de estos producía un nivel mayor de cargas eléctricas, obtenido como resultado que la mejor alternativa era la utilización del circuito en serie.

Dicho circuito fue enlazado a un dispositivo conformado por cuatro LED's conectados de manera paralela como se presenta en la Figura 6.7 mediante el cual fue posible comprobar la obtención de la energía eléctrica como se muestra en la Figura 6.8.

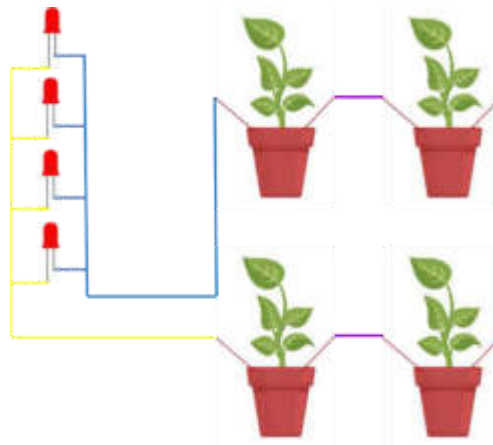


Figura 6.7. Imagen representativa del prototipo final.

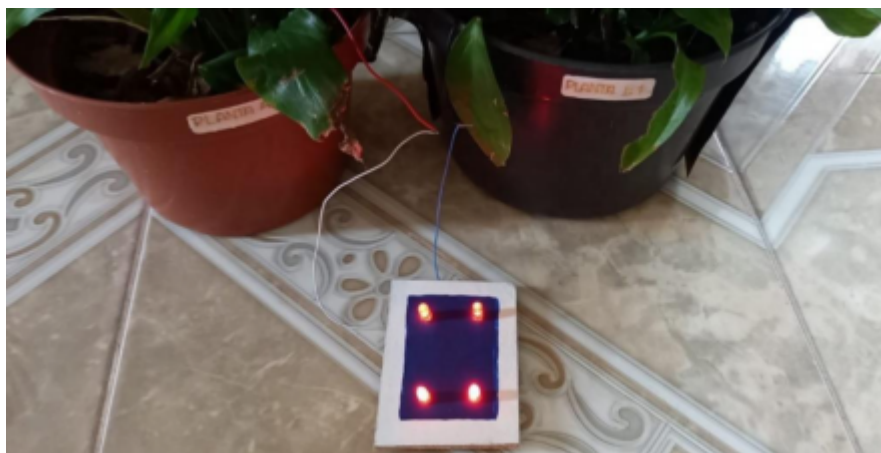


Figura 6.8. Prototipo demostrativo conectado al circuito en serie de 14 ejemplares.



ANTECEDENTES



7. ANTECEDENTES

7.1 FUENTES DE ENERGÍA

A lo largo del tiempo el término de energía ha adquirido diferentes significados dependiendo del área de estudio desde la cual se esté observando, sin embargo, la física reconoce únicamente la existencia de la energía mecánica; constituida por la energía cinética y potencial, y de la energía interna de los cuerpos. Todos los demás conceptos utilizados hacen referencia a los mecanismos de transporte o transferencia, así como la forma en la que esta se manifiesta: energía gravitatoria, energía cinética, energía química, energía eléctrica, energía magnética, energía nuclear, energía radiante, etc., existiendo siempre la posibilidad de que esta sea transformada, pero respetando el principio de conservación de la energía.

Las fuentes de energía son comúnmente clasificadas de acuerdo con su naturaleza, obteniendo así dos categorías: energías no renovables y renovables, sin embargo, como se muestra en la Figura 7.1 también suelen clasificarse de acuerdo con su origen o el uso comercial que se les da a estas (COLINO, 2004).



Figura 7.1 Clasificación de las fuentes de energía en acuerdo a COLINO, 2004.

7.2 PROPIEDADES DE LA ENERGÍA

Fundamentalmente la energía tiene cuatro propiedades básicas (JARAUTA & MORATA, 2019) y obedecen con el principio de la termodinámica:

- Se degrada: Únicamente una parte de la energía es transformada, mientras que la otra parte de estas es liberada o perdida en forma de energía calorífica o vibraciones mecánicas no deseadas comúnmente denominadas como ruido.
- Se transforma: Siguiendo el principio termodinámico de la conservación de la energía, esta no se crea o se destruye, sino que se transforma y es durante este proceso cuando se manifiesta de distintas formas como energía mecánica o cinética, energía química, energía lumínica, etc.
- Se conserva: Al finalizar el proceso de transformación energética no es posible tener una menor cantidad de la existencia al inicio de la transformación por lo que esta se mantiene constante.
- Se transfiere: La energía es transferida de un cuerpo a otro en forma de calor, trabajo y ondas.

7.3 FUENTES DE ENERGÍA NO RENOVABLES

Se define a las energías no renovables como aquellas energías que llevan almacenadas en la Tierra durante millones de años y cuya presencia en la naturaleza es limitada, es decir, estas no se regeneran o en su defecto el proceso de regeneración se realiza de manera lenta provocando que al realizar una sobreexplotación se agote el abastecimiento de estas (JARABO, 1988).

Jarabo en 1988 también afirma que las energías renovables pueden subclasificarse en dos categorías:

- Convencionales: Se encuentran distribuidas de manera regular por todo el planeta, las cuales producen una mayor cantidad de energía, como lo es el petróleo, el gas natural y el carbón.
- No convencionales: Se le denomina de esta manera a las fuentes de energía producidas con recursos poco comunes alrededor del planeta o cuya producción se ha visto limitada a lo largo de los años debido a los altos costos que su producción necesita, entre las principales fuentes no convencionales encontramos los biocombustibles, agrocombustibles o el uso del uranio y el plutonio.

7.4 PRINCIPALES FUENTES DE ENERGIA NO RENOVABLE

PETRÓLEO

La palabra petróleo proviene del latín petroleous, la cual a su vez se deriva del vocablo latino Petro que significa piedra y oleous que se utiliza para referirse a los aceites, de esta manera surge la palabra petróleo, y que es utilizada para referirse a todos aquellos aceites que son extraídos de las rocas sedimentarias en las que se han acumulado restos de plantas y animales a lo largo de millones de años (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, s.f., definición 1).

Elementalmente se encuentra compuesto por 85% carbono, 12% hidrogeno, 3% de azufre, oxígeno y una variedad de elementos metálicos. El petróleo crudo como es comúnmente denominado a la mezcla que mana directamente del pozo, tiene múltiples aplicaciones, sin embargo, los derivados de este son quienes forman un papel importante en la industria por lo que es necesario someterlo a un proceso de refinado en el cual la principal operación es la destilación fraccionada (HERRERA, 2020).

El petróleo crudo es llevado de los campos petrolíferos a las refinerías como la mostrada en la Figura 7.2 ubicadas cerca de los yacimientos y con ayuda de oleoductos que facilitan su extracción de los mares, lagunas, desembocaduras de ríos y cercanías del mar en donde este es localizado con mayor frecuencia.



Figura 7.2 Refinería ubicada en Paraíso, Tabasco. (Notimex, 2010, <https://flic.kr/p/8u9BWK>.)

CARBÓN

El carbón tiene una procedencia muy similar a la del petróleo, sin embargo, tiene una composición distinta, pues se trata de la fosilización de residuos orgánicos vegetales acumulados en lugares pantanosos, lagunas y deltas fluviales. Existen dos tipos de minas en las cuales es posible llevar a cabo el proceso de extracción del carbón, una de ellas es la denominada mina de carbón a cielo abierto representada en la Figura 7.3, en la cual mediante explosiones realizadas en la superficie cuando el

yacimiento de carbón se encuentra a muy poca profundidad es posible obtener este recurso, de esta manera se convierte en un proceso más seguro y económico, sin embargo representa un proceso más contaminante en comparación con la extracción tradicional del carbón mediante el uso de minas subterráneas (CORDINACION GENERAL DE MINERIA, 2014).



Figura 7.3 Mina de carbón a cielo abierto. (Valora, 2023. <http://tinyurl.com/yt656vgk>)

De acuerdo con un informe de Statista en el 2019, reportan que el carbón fue el recurso más utilizado a nivel global, siendo a su vez el combustible fósil con mayor influencia en los niveles de contaminación razón por la cual existen múltiples campañas para fomentar la eliminación de las minas destinadas para la extracción de dicho mineral.

GAS NATURAL

Se le denomina gas natural al producto de la mezcla de diferentes gases entre los cuales predomina el metano con un porcentaje del 75-90% del volumen total de la mezcla, complementándose con otros gases como el etano, propano, butano, nitrógeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, helio y argón (LATORRE, 1996). Este es utilizado principalmente como combustible doméstico ya que posee un gran poder calorífico, además de producir una escasa contaminación durante su combustión y permitir la regulación de esta. De manera industrial es utilizado como materia prima, por ejemplo, en el sector petroquímico para la producción u obtención de amoníaco, metanol, etileno, butadieno y propileno.

ENERGÍA NUCLEAR

Los átomos son las partículas más pequeñas en las que se puede dividir un elemento químico conservando sus propiedades; compuestos en su núcleo por dos tipos de partículas denominadas neutrones y protones, las cuales se mantienen unidas por una energía denominada energía nuclear.

Dicha energía debe ser liberada mediante dos formas; fusión y fisión nuclear. Durante la fisión nuclear, los núcleos son separados formando nuevos núcleos de menor tamaño liberando así energía, mientras que durante la fusión nuclear la energía es liberada cuando los núcleos de los átomos son combinados formando un núcleo de mayor tamaño.

Cuando estas dos reacciones se producen los átomos presentan una ligera pero considerable pérdida de masa, la cual se convierte en energía calorífica y de radiación, esta energía es utilizada para la producción de vapor y así lograr la generación de energía eléctrica (VIQUEIRA,2012).

De acuerdo con datos proporcionados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) de las Naciones Unidas, en el último trimestre del 2020 se encontraban en operación 442 reactores ubicados en diferentes centrales eléctricas en 31 países, los cuales proporcionan alrededor del 11% de la electricidad a nivel mundial. A este número se agregan otras 53 plantas nucleares en proceso de construcción en 20 naciones cuyo diseño es similar al presentado en la Figura 7.4; destacando China, India, Rusia, Corea del Sur y Emiratos Árabes Unidos entre los principales países que buscan introducirse en la generación de este tipo de energía.



Figura 7.4. Imagen representativa de una planta nuclear (Viqueira, 2012).

7.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ENERGÍAS NO RENOVABLES

Las fuentes de energía no renovables son la principal fuente de producción de energía primaria a nivel mundial, sin embargo, tienen muchos inconvenientes que pueden dificultar la implementación de estas como se muestra en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Ventajas y desventajas de las energías no renovables.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Extracción de manera continua al no depender de fenómenos atmosféricos. Facilidad de almacenamiento. Mayores conocimientos en cuanto a su implementación y generación.	Generación de contaminación atmosférica. No pueden ser reemplazadas o revitalizadas Elevados costos de producción.

7.6 FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES

Se denomina fuentes de energías renovables a “aquellas que proceden del flujo de energía que recibe continuamente la Tierra, y que tienen su origen en el Sol, aunque en ciertos casos existe una cierta contribución de los campos gravitatorios terrestre y lunar “(JARABO, 1988), es decir, son aquellas cuyo potencial es ilimitado e inagotable y cuya obtención proviene de fuentes que se regeneran de manera natural y rápida.

7.7 PRINCIPALES FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE

De acuerdo con Jarabo (1988) existen diversas fuentes de energía renovables cuyo desarrollo e implementación se encuentra:

ENERGÍA SOLAR

La energía solar se manifiesta mediante la radiación ultravioleta, visible e infrarroja; dicha energía es el resultado de un proceso que tiene lugar en el interior del sol produciendo así energía que es recibida por la tierra en fotones los cuales interactúan con nuestra atmósfera, hidrósfera y la superficie de la Tierra. (SCHALLENBERG & HERNANDEZ,2008).

La radiación solar que es recibida directamente al planeta tierra y se puede transformar en energía eléctrica mediante el sistema de celdas fotovoltaicas o energía calorífica con el apoyo de la

implementación de un sistema térmico, este último tipo de energía a su vez puede ser utilizada para la producción de vapor y de esta manera generar la electricidad.

Para lograr la producción de energía eléctrica es necesario la implementación de un sistema conformado por celdas fotovoltaicas, dichas celdas se encuentran fabricadas principalmente de silicio, el cual obtiene propiedades eléctricas al ser combinado con otros materiales y expuesto a la luz solar debido a que el flujo de electrones es aprovechado para la generación de energía eléctrica.

Actualmente existen tres diferentes tipos de células de silicio, que son ocupadas en las celdas fotovoltaicas como la mostrada en la Figura 7.5.

- Silicio monocristalino: en este se utilizan lingotes puros de silicio, los cuales se consideran los más eficientes con un rendimiento superior al 12%.
- Silicio policristalino: se trata de un material de menor costo debido a que estos se fabrican con restos de piezas de silicio monocristalino, sin embargo, el rendimiento es inferior en comparación con las piezas de silicio monocristalino.
- Silicio amorfo: este tipo de piezas es poco usada a nivel industrial debido al bajo rendimiento que estas poseen ya que son construidas por deposición de capas delgadas sobre vidrio, por lo que su aplicación se realiza en piezas pequeñas como calculadoras, relojes, etc.



Figura 7.5. La célula fotovoltaica (SCHALLENBERG Y HERNÁNDEZ, 2008).

La energía solar puede ser generada en cualquier época del año, siempre y cuando las celdas fotovoltaicas se encuentren en contacto con la luz solar, además la mayoría de estos sistemas cuenta con un sistema de almacenamiento en el cual la energía es acumulada para ser utilizada en días posteriores a su generación.

ENERGÍA EÓLICA

Para comenzar con la definición de la energía la energía eólica primero se debe conocer cómo es que se genera, el principal recurso que esta necesita: el viento. El sol provee energía calorífica que es recibida de manera desigual en diferentes zonas de la tierra trayendo como consecuencia de este fenómeno el movimiento del aire que proviene del entorno y así generando lo que comúnmente se conoce como viento.

Para lograr la generación de energía eléctrica eólica se utilizan las llamadas “Aero-turbinas” representadas en la Figura 7.6; se trata de un dispositivo constituido por unas paletas que al ser expuestas al viento producen un trabajo mecánico de rotación, el cual da movimiento a un generador para así producir electricidad.

De acuerdo con Schallenberg y Hernández (2008), un aerogenerador se encuentra conformado por los siguientes elementos:

ROTOR: Se trata de un sistema conformado principalmente por unas paletas comúnmente fabricadas de plástico o epoxy, los cuales se encuentran reforzadas internamente por fibra de carbono o de vidrio; son estas las encargadas de transformar la energía cinética en energía mecánica.

TORRE: Esta torre es la base principal en la cual será instalado el rotor, es decir, las paletas que captaran la energía proveniente del viento; durante su instalación se debe tener en cuenta que el viento sopla de distintas maneras dependiendo de la altura a la que se encuentren instaladas, es decir, más cerca del suelo la velocidad del viento será más baja, sin embargo, si aumentamos la altura dicha velocidad será incrementada.

GÓNDOLA: dentro de este se ubican todos los sistemas encargados de transformar la energía generada por el movimiento de las paletas en energía eléctrica, es decir, se encuentra constituido por los ejes del aerogenerador, el multiplicador el cual es un sistema mecánico integrado por una serie de engranes cuyo principal objetivo o función es la transformación de la velocidad del giro del rotor en la velocidad de trabajo del generador; el generador a su vez es la máquina encargada de la transformación de la energía mecánica en energía eléctrica. La góndola también se encuentra conformada por los sistemas de control, orientación y freno.

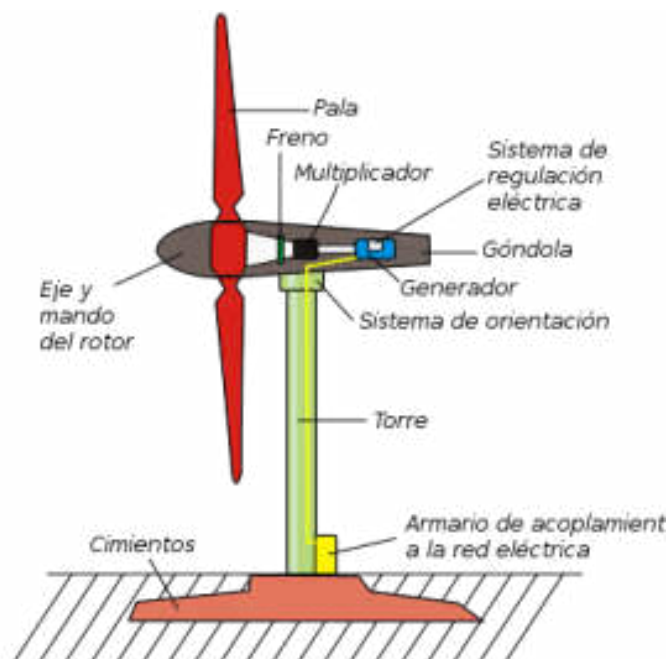


Figura 7.6. Estructura y componentes de una aero-turbina (SCHALLENBERG Y HERNÁNDEZ, 2008).

ENERGÍA HIDRÁULICA

La fuerza del agua ha sido utilizada a lo largo de los años, existen referencias de molinos de agua que datan del siglo 1 a.c, los cuales eran utilizados para la sustitución del trabajo humano con el paso del tiempo existieron avances que permitieron la innovación de la tecnología detrás de los molinos de agua; actualmente existen enormes centrales hidráulicas que tienen el mismo objetivo que los antiguos molinos.

En las centrales hidráulicas se aprovecha la energía potencial del caudal del agua, para que de esta manera sea convertida en energía mecánica que posteriormente será transformada en energía eléctrica. De acuerdo con lo mencionado por Schallenberg y Hernández (2008) dicha central se encuentra constituida esencialmente por tres partes representadas en la Figura 7.7; una presa mediante la cual se controla el flujo del agua, un embalse en el cual el agua es almacenada y finalmente el sistema de transformación de la energía mecánica en energía eléctrica.



Figura 7.7 Central hidráulica (SCHALLENBERG Y HERNÁNDEZ, 2008).

El agua que se encuentra en la presa acciona las paletas de una turbina que generan energía mecánica; estas paletas se encuentran conectadas a un generador rotativo mediante el cual la energía es transformada en energía eléctrica, el agua que utilizada sale de estas paletas a través de un canal que conduce el agua de vuelta al río.

ENERGÍA MAREOMOTRIZ

Los océanos poseen un gran potencial energético que puede ser aprovechado mediante la utilización de diferentes tecnologías, la energía mareomotriz se basa en el aprovechamiento de la marea, el ascenso y descenso del agua del mar producto de la influencia de la acción gravitatoria del Sol y la Luna sobre la Tierra. La energía potencial producida por la marea es utilizada para accionar una turbina la cual mediante su movimiento es capaz de producir energía eléctrica (SEYBOTH Y MATSCHOSS, 2011).

El proceso para lograr la generación de la energía mareomotriz es muy similar al usado para la generación de la energía hidráulica con la única diferencia, que la energía mareomotriz es implementada en los océanos mientras que la hidráulica es implementada en ríos y presas.

ENERGÍA GEOTÉRMICA

De acuerdo con el Consejo Europeo de Energía Geotérmica, la energía geotérmica es aquella que se encuentra almacenada en forma de calor por debajo de la superficie de la zona terrestre incluyendo todo el calor que se encuentra almacenado en rocas, las aguas localizadas en el subsuelo consecuencia del colapso gravitatorio que formó a la superficie terrestre, dicho calor se encuentra en dimensiones inmensamente grandes siendo aproximado a 12.6 billones de exojules (considerando que un exojule equivale a un trillón de Jules).

Según un informe presentado por la Comisión Federal de Electricidad CFE (2022), México cuenta con una cantidad aproximada de 965 mega watts, siendo los principales puntos de explotación Cerro Prieto en Baja California; los Azufres en Michoacán y los Humeros en Puebla colocando al país en el cuarto lugar en el ranking de los países con mayor generación de energía geotérmica, por debajo de Estados Unidos, Filipinas e Indonesia. En la Figura 7.8 se ilustra el proceso de obtención de la energía geotérmica.

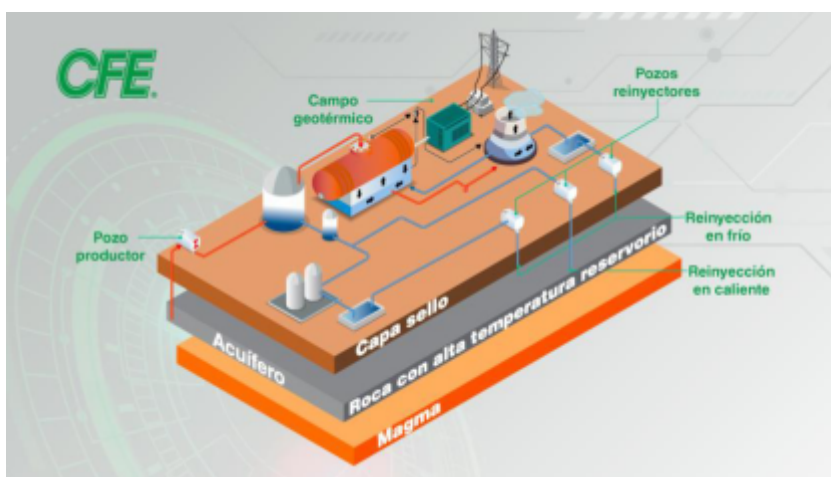


Figura 7.8. Proceso para la obtención de energía Geotérmica (Comisión Federal de Electricidad, 2022).

BIOMASA

Se define a la Biomasa como “la fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y animal, así como las de silvicultura y de las industrias de la pesca y la acuicultura, además también se considera a la fracción procedente de las actividades realizadas por la industria (SEYBOTH Y MATSCHOSS, 2011), es así como siguiendo el diagrama presentado en la Figura 7.9, se puede definir a la biomasa como toda la materia orgánica que es utilizada como fuente de energía después de ser sometida a un proceso de transformación siendo el más común la combustión y la pirólisis.

Durante el proceso de la combustión la biomasa es sometida a una temperatura entre 600 y 1300 °C, como consecuencia se obtienen gases calientes que producen calor, y así producir energía eléctrica. Mientras que durante el pirólisis la biomasa es descompuesta a una temperatura aproximada de 500 °C en condiciones en las cuales no se intervenga el oxígeno.

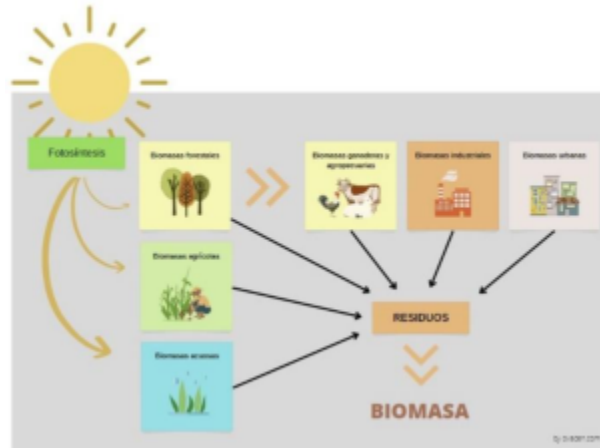


Figura 7.9. Proceso representativo de la obtención de Biomasa (SCHALLENBERG Y HERNÁNDEZ, 2008).

La aplicación de esta fuente de energía se cataloga como la única energía renovable que balancea el CO₂ de la Tierra, siempre y cuando los procesos para su obtención se realicen de manera renovable y sostenibles, es decir, que el consumo se realice de manera más lenta que la capacidad que tiene la tierra para poder lograr la regeneración.

Por otro lado, el azufre se encuentra de forma nula o en bajas cantidades dentro de la biomasa por lo que su combustión no contribuye a la denominada lluvia ácida, además de permitir el uso de las cenizas como fertilizantes para los diferentes recursos naturales.

7.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

De acuerdo con la Organización Mundial de las Naciones Unidas (2017) las fuentes de energía renovables contribuyen a disminuir los altos niveles de contaminación existentes a nivel mundial, sin embargo, posee aspectos negativos y positivos que deben de considerarse antes de implementarlas; dichos aspectos se muestran en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2. Ventajas y Desventajas de las Energías Renovables.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Libres de contaminantes atmosféricos.	Elevados costos en la inversión inicial para su implementación.
Inagotables.	Depende de factores atmosféricos para lograr su generación.
Económicamente competitivas	Requiere de una ubicación específica.

7.9 ENERGÍA ELÉCTRICA A TRAVÉS DE ORGANISMOS VEGETALES

Los organismos vegetales utilizan la luz del sol para dividir átomos de agua en hidrógeno y oxígeno el cual produce electrones que al ser liberados crean azúcares que las plantas utilizan tanto como alimento como para impulsar su crecimiento y sus funciones reproductivas.

LA FOTOSÍNTESIS

En la antigua Grecia el filósofo Aristóteles quien se encontraba interesado en diferentes campos de la ciencia propuso una hipótesis en la cual sugería que la luz solar se encontraba directamente involucrada en el proceso que las plantas realizaban para obtener el color verde característico de sus hojas, sin embargo, esa idea no trascendió durante su época, pero se convirtió en la base de una serie de teorías que con el paso del tiempo fueron planteadas por diversos autores, siendo la más importante de estas la propuesta por Sachs, quien demostró que la formación de almidón se encuentra asociada con la iluminación y que esta sustancia desaparece en la oscuridad o cuando los estomas son ocluidos; de esta manera formuló la ecuación básica de la fotosíntesis: $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$.

La fotosíntesis es un proceso mediante el cual la energía lumínica es transformada en energía química mediante la absorción de la luz por intermedio de la clorofila, produciéndose así la absorción del dióxido de carbono, agua y convirtiendo estos en azúcares. (LINCOLN & ZEIGER, 2006).

La reacción general de la fotosíntesis es la siguiente:



Este proceso se realiza en los cloroplastos, los cuales tienen la capacidad de captar y absorber la energía luminosa procedente del sol; entre estos pigmentos se encuentran la clorofila (verde), xantofila (amarillo) y carotenoides (anaranjado). A lo largo del todo el proceso se realizan diferentes reacciones que involucran la presencia de la luz (fase lumínica o luminosa) y una reacción que es independiente la cual es denominada como fase oscura, incluyendo en estos factores como el agua, dióxido de carbono, pigmentos y la temperatura como se muestra en la Figura 7.10. (GUARDIOLA & GARCÍA, 1990).

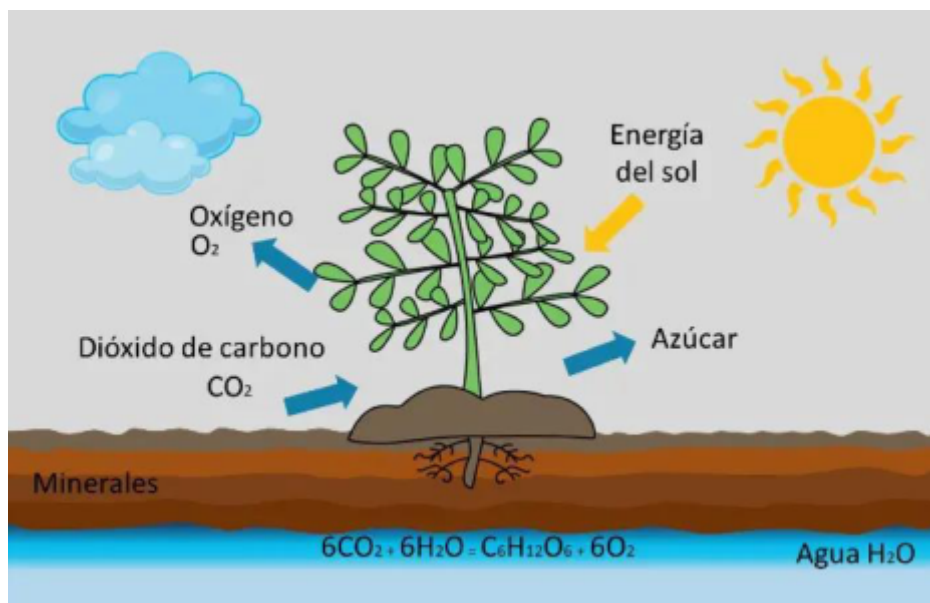


Figura 7.10. Imagen representativa del proceso de fotosíntesis (OCAMPO,2014).

De acuerdo con la Bióloga Natalia Ocampo (2014) la fotosíntesis es la fuente de vida de la mayor parte de los seres vivos, puesto que esta proporciona la energía indispensable para los distintos procesos vitales, esta se divide en dos etapas:

FASE LUMINOSA

La primera fase de la fotosíntesis normalmente conocida como fase lumínica es aquella en donde la energía luminosa es transformada en química, la cual es utilizada por los seres vivos, esta fase depende completamente de la luz que es recibida en los cloroplastos y captada por medio de la clorofila, dicha energía descompone el agua en hidrógeno y oxígeno. El oxígeno es liberado y se generan dos moléculas mediante el movimiento de los electrones de un nivel a otro librando la energía para así producir la molécula trifosfato de adenosina (ATP) considerada como la principal moneda energética de las células y el poder reductor que es la molécula Nicotiamida-Adenina Dinucleotido fosfato (NADPH₂), los cuales serán necesarios en la siguiente fase apoyando en la transformación del CO₂ en hidratos de carbono.

FASE OSCURA

La segunda fase del proceso de fotosíntesis se caracteriza por no tener la intervención de la luz, sin embargo, las moléculas formadas durante la primera fase participan en la reducción del dióxido de carbono CO₂, creando así una serie de reacciones que son normalmente conocidas como el “Ciclo de Calvin”. Dichas reacciones combinan el CO₂ con RDP (difosfato de ribulosa) para que de esta manera formen PGA (ácido fosfoglicérico).

Mediante la combinación del PGA con NADPH₂ Y ATP se libera agua y se forman PGAL que funciona como un nutriente para la planta, además se produce glucosa a partir de este nutriente, la cual es disuelta en agua para que de esta manera logre recorrer toda la planta y así proporcione la energía necesaria que lograr el crecimiento de la planta; todo este proceso representado en la Figura 7.11.

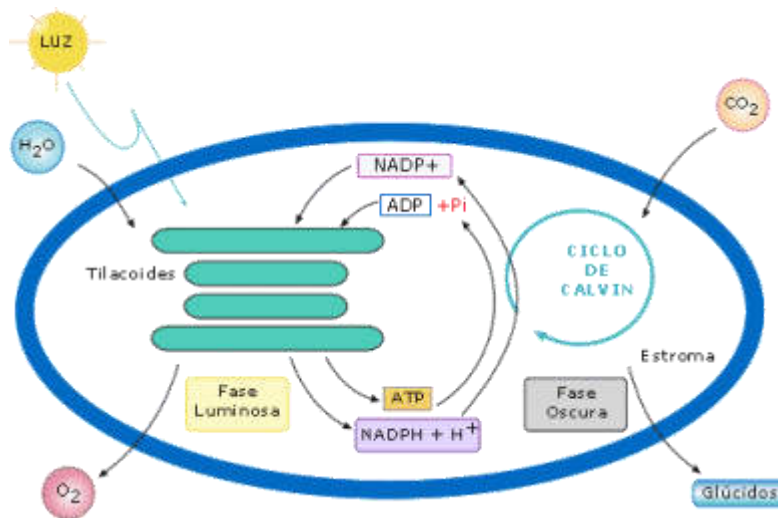


Figura 7.11. Imagen representativa de la fase luminosa y la fase oscura (OCAMPO, 2014).

AGUA (H₂O)

Representa un factor elemental en la reacción que se efectúa en la fotosíntesis, capta por las raíces y tallos de las plantas permite disolver los elementos químicos del suelo que la planta necesita utilizar para construir sus tejidos.

EL DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

Es utilizado por las plantas en combinación por el agua, para llevar a cabo para lograr sintetizar los hidratos de carbono presentes durante el proceso; dicho componente es absorbido por las plantas mediante los poros ubicados en el inferior de las hojas denominados estomas.

LOS PIGMENTOS

Son todas aquellas sustancias encargadas de la absorción de la luz que será utilizada para producir la fotosíntesis, siendo el más importante de estos la clorofila, la cual es la encargada de dar su color característico a las plantas.

LA TEMPERATURA

Esta depende de la temperatura que las plantas puedan soportar dependiendo de las características que posean, sin embargo, se considera como temperatura ideal entre 20-30°C.

7.10 ANTECEDENTES DE LA ENERGÍA FOTOSINTÉTICA

Las energías renovables constituyen un alternativa muy importante para la generación de energías limpias que contribuyan a mejorar las condiciones ambientales actuales , por ello se han realizado diversos estudios mediante los cuales se busca la generación de energía eléctrica a partir de diversos organismos vegetales, por ejemplo, los investigadores japoneses Koichi Nishio y Kazuhito Hashimoto en el año 2010 publicaron un artículo en la revista *Applied Microbiology and Biotechnology* denominado “Light/electricity conversion by a self-organized photosynthetic biofilm in a single-chamber reactor” en el cual se mostraba un sistema de conversión de la luz basado en biopelículas a partir de una comunidad microbiana natural. Se utilizó un biorreactor equipado con un cátodo de aire y un ánodo de grafito, obteniendo como resultado que las algas verdes y las bacterias heterótrofas convirtieron de manera cooperativa la energía luminosa en electricidad (Nishio y Hashimoto, 2010).

Así mismo, la empresa Bioo fundada en el año 2015 es pionera en el desarrollo y comercialización de un sistema capaz de generar energía eléctrica a través de las plantas basando su funcionamiento en un reactor biológico a partir de células de combustible microbianas (BIOO -Arkyne Technologies, 2024).

Dentro del sector empresarial también podemos encontrar el proyecto Plant-e desarrollado desde finales del año 2014 por una compañía holandesa quien aprovecha la electricidad generada por las plantas vivas para cargar teléfonos móviles, puntos de acceso Wi-Fi y faroles Led. (PLANT- E, 2024)

Por otra parte, el Instituto de Tecnología de Israel en conjunto con la Facultad de Biología publicó en el año 2022 un artículo en la revista *Frontiers in Plant Science* denominado “Harnessing photosynthesis to produce electricity using cyanobacteria, green algae, seaweeds and plants” en el cual se expone el estudio realizado a las células los cuales producen electricidad o hidrógeno para su uso como energía verde. (Shlosberg, Schuster y Adir, 2022).

De igual forma un grupo de investigadores del departamento de Biología de la Universidad de Nariño en Colombia discutieron los aspectos más importantes que afectan el desempeño de las celdas de combustible microbianas empleadas para la obtención de la energía, de esta manera, se comprende su arquitectura, función microbiana y el tipo de sustratos que pueden ser utilizados facilitando el proceso de experimentación no solo para la producción de energía sostenible, sino también para su

implementación en la degradación de materia orgánica y biorremediación. (Revelo, Hurtado y Ruiz, 2013).

Todas estas investigaciones tienen como principal objetivo la generación de una energía verde que no solo contribuya a disminuir el uso de otros combustibles sino también a la preservación de uno de los factores naturales más importantes para la vida del ser humano como lo es la flora de cada región.

7.11 PILA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA VEGETAL

Una pila de combustible microbiana (MFC, Microbial fuel Cells) es un dispositivo cuya principal función es convertir la energía química en energía eléctrica; se trata de un sistema bioelectroquímico en el cual los microorganismos presentes degradan la materia orgánica y producen electrones los cuales viajan a través de enzimas y producen energía para la célula como se muestra en la Figura 7.12 (MORALES, 2022).

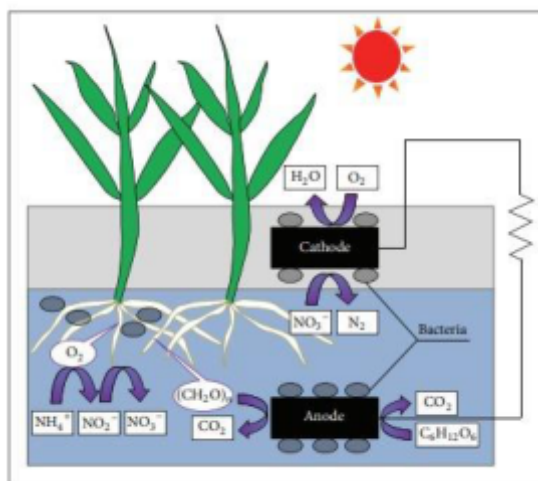


Figura 7.12. Pila de combustible microbiana vegetal (MORALES, 2022).

Para lograr la generación de energía eléctrica se requiere de 6 pasos:

Paso 1: Durante el proceso de fotosíntesis de las plantas se producen sustancias orgánicas y oxígeno a partir del dióxido de carbono y del agua.

Paso 2: Más del 65 % de las sustancias orgánicas producidas serán transportadas a las raíces de las plantas

Paso 3: Las sustancias orgánicas liberadas por las raíces serán descompuestas por bacterias mediante un proceso de oxidación; de acuerdo con Zapien (2019), la reacción electroquímica en los electrodos es la siguiente:

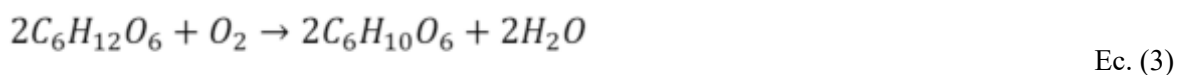
ÁNODO



CÁTODO



REACCIÓN CONTINUA DE LA RED



Paso 4: Se produce dióxido de carbono, fotones y electrones.

Paso 5: El dióxido de carbono es liberado a la atmósfera.

Paso 6: Cuando se inserta el ánodo y el cátodo cerca de la raíz de la planta, los electrones son atraídos hacia el ánodo debido a la carga positiva de este, mientras que los fotones son atraídos hacia el cátodo por la carga negativa de este.

En cuanto al material del electrodo, el ánodo debe ser eléctricamente conductor para permitir la transmisión de electrones a través del circuito, así como cumplir las condiciones de alta conductividad siendo los más utilizados el cobre, grafito, carbono y níquel; mientras que el cátodo es un material reductor de iones de oxígeno que a menudo limita la resistencia debido al alto sobrepotencial creado por la alta concentración de polarización entre los materiales más utilizados están el platino, hierro, grafito, zinc, el aluminio y acero (MORALES, 2022).

7.12 LA BIODIVERSIDAD EN MÉXICO

Los organismos vegetales se han convertido en un elemento básico en nuestra vida pues son estos quienes permiten el desarrollo de la vida en el planeta tierra aportando oxígeno, alimento e incluso en muchas ocasiones medicinas; de acuerdo con las cifras expuestas por la SEMARNAT (2023) la flora mexicana se encuentra constituida por más de 23 000 especies, teniendo así casi el 70% de la variedad de plantas y animales del mundo convirtiéndose en uno de los principales integrantes del grupo de países megadiversos (CONABIO, 2023)

El principal requisito que un país debe cumplir para estar considerado dentro de dicha lista es tener un mínimo de 5 000 especies endémicas de plantas. México fue incluido en la lista de países megadiversos por primera vez en 1988 cuando el World Wildlife Fund representó el primer listado en un mapa que incluía únicamente a seis países: México, Colombia, Brasil, Zaire, Madagascar e Indonesia. Al año siguiente cuando Russell Mittermeier creó la organización Conservation International, la cual realizó un primer análisis a nivel mundial incrementó la lista a 12 países en la cual se incluía a: México, Colombia, Ecuador, Perú, Brasil, Congo, Madagascar, China, India, Malasia, Indonesia y Australia, aunque años más tarde después de realizar otro análisis de la flora de cada país se decidió realizar una nueva modificación e incrementar dicho listado a un total de 17 países incluyendo a Estados Unidos, Filipinas, Venezuela, Sudáfrica y Papúa Nueva Guinea (Mittermeier, 1988).; de esta manera se crea el mapa geográfico de países megadiversos representado en la Figura 7.13.



Figura 7.13. Mapa Geográfico de los Países Megadiversos (Mittermeier, 1988).

En México a las plantas florales se les denomina de manera científica como MAGNOLIOPHYTAS; las cuales se encuentran compuestas por verticilos o espirales de sépalos, pétalos, estambre y carpelos. De acuerdo con la Revista Mexicana de Biodiversidad el país tiene alrededor de 11,001 especies endémicas, colocando así a México como el quinto país con mayor riqueza floral del mundo por debajo de Brasil,

Colombia, China y Sudáfrica. Desde la antigüedad, las flores han tenido un espacio muy importante en la cultura y tradición de muchos pueblos del país; fueron utilizadas de manera medicinal, artesanal, decorativo, energético o simbólico, sin embargo, cumplen un papel fundamental en la vida del ser pues son ellas quienes captan la energía del sol y con esta fabrican materia orgánica, liberando el oxígeno necesario para la vida llevando a cabo la denominada fotosíntesis (Velasco,2006).

7.13 LA RADIACIÓN SOLAR

La energía solar es la resultante del proceso de fusión nuclear que se lleva a cabo en el sol, siendo esta energía un de los principales pilares del medio ambiente y de la vida en el Planeta Tierra, dicha radiación es transmitida por ondas electromagnéticas, las cuales en conjunto son denominadas espectro electromagnético, siendo clasificado dependiendo a su longitud de onda (GUARDIOLA & GARCÍA, 1990) como se observa en la Figura 7.14. La radiación lumínica ocupa una pequeña franja del espectro visible que va desde los 400 a los 700 nm, situándose de esta manera entre las radiaciones ultravioletas (UV) y las infrarrojas (IR).

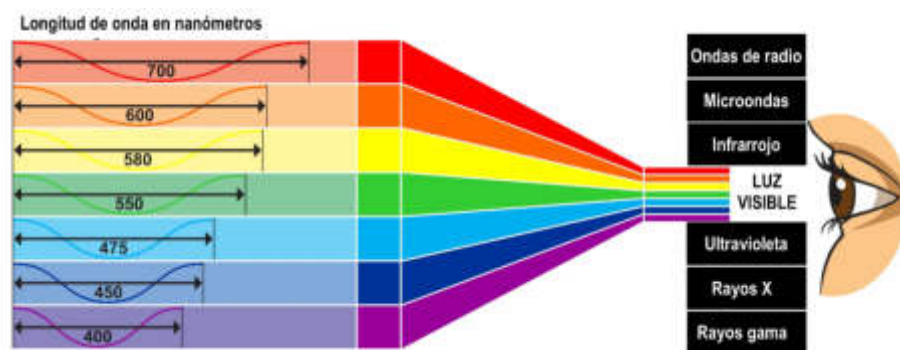


Figura 7.14. Imagen representativa del espectro de onda (GUARDIOLA & GARCÍA, 1990).

La energía solar que llega a la superficie de la tierra es 10, 000 veces mayor que toda la energía que se consume actualmente por la humanidad, sin embargo, solo ingresa aproximadamente la mitad del total emitido por el sol. De acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y de Marina de España (2009) la proporción en la que podemos encontrar la radiación solar en las distintas regiones del espectro electromagnético es la siguiente:

- Infrarrojo: 49%
- Luz Visible: 43%

- Ultravioleta: 7%
- El resto: 1%

Únicamente el 21% del 43% de la luz visible que ingresa a la atmósfera es aprovechable por la fotosíntesis, a pesar de que al llegar a la superficie esta sufre pérdidas por la dispersión de calor, convección del viento y la evaporación del agua como se representa en la Figura 7.15, dejando disponible únicamente el 5% de esta para que las plantas puedan realizar el proceso de la fotosíntesis.

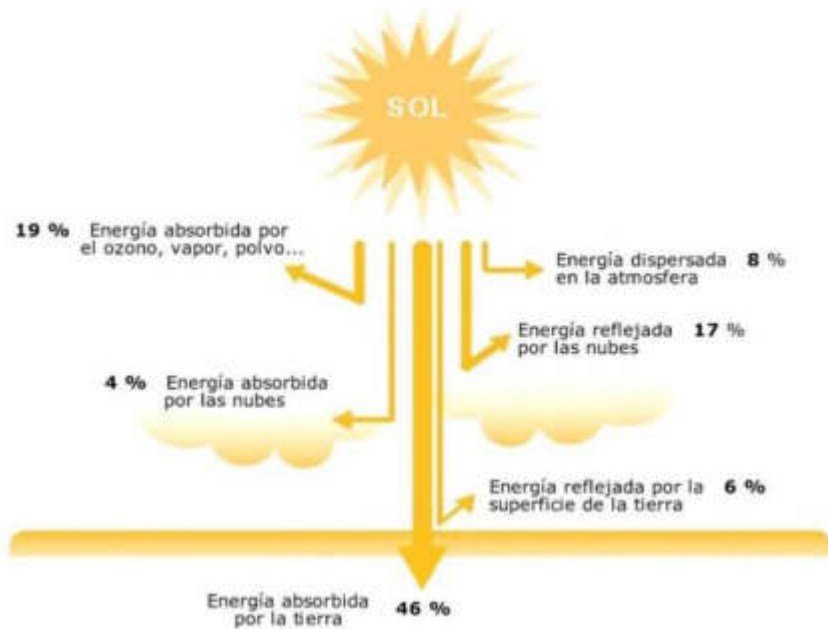


Figura 7.15. Porcentaje de dispersión de la energía que ingresa en la atmósfera (STEVEN & LEDESMA, 2019).

El proceso de fotosíntesis tiene múltiples beneficios sobre el planeta Tierra, pues este renueva constantemente el O_2 que se encuentra en la atmósfera y es necesario para otros seres y microorganismos vivos, además de lograr un equilibrio en los gases ya que el oxígeno consumido durante la respiración y la combustión es reemplazo evitando así el incremento del dióxido de carbono.

7.14 INFLUENCIA DE LA LUZ SOLAR EN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

Para asegurar un desarrollo pleno de las plantas, estas deben recibir un nivel adecuado de iluminación, cuanto mayor sea esta, el proceso de fotosíntesis se efectuará de manera más rápida y efectiva, sin embargo, dicho proceso alcanza un límite al cual se le denomina “punto de saturación de la luz”, es en dicho momento cuando la velocidad del proceso se vuelve plana.

Cuando una planta se encuentra bajo altos niveles de iluminación comienza con la producción de la denominada clorosis la cual se caracteriza por amarillenta el tejido foliar de las plantas, como consecuencia de la falta de clorofila; sin embargo cuando las plantas reciben bajos niveles de luz tienen un crecimiento vegetativo lento y menor en comparación con aquellas que se expusieron de manera suficiente a la iluminación, además de tener una menor floración produciendo así hojas más pequeñas y sin el color característico de estas.

Es imposible determinar un límite de iluminación para todas las plantas ya que esta dependerá del tipo de planta, es por ello por lo que actualmente se implementan invernaderos en los cuales por medio de controladores es posible programar el clima al cual se requiere exponer a las plantas (GUARDIOLA & GARCÍA, 1990).

Para que las plantas comiencen con el proceso de la fotosíntesis es necesario que estas tengan el nivel energía de la luz adecuado, dicho nivel se denominará punto de compensación de la luz y dependerá de la especie o tipo de planta y será captado por los tejidos verdes que la componen; todos estos intervienen en el proceso de fotosíntesis pero en la mayoría de las plantas, el proceso ocurre en las hojas puesto que la clorofila localizada en estas se encarga de absorber los rayos del sol para posteriormente las células internas de la capa del tejido foliar denominadas como Mesófilas se encarguen de realizar el proceso (STEVEN & LEDESMA, 2019).

7.15 ARDUINO UNO

La electrónica se relaciona con el análisis del comportamiento de los electrones y como estos pueden ser implementados haciendo así posible la distribución de la energía, sin embargo, para lograr esto es necesario el uso de circuitos electrónicos formados por sensores los cuales reciben señales físicas que transforma en señales de corriente.

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que puede ejecutar distintas tareas después de grabar en su memoria, estos se encuentran formados por tres unidades fundamentales: la unidad de procesamiento central, la memoria y los periféricos de entrada y salida; sus aplicaciones varían

dependiendo del área en él sea utilizado siendo comúnmente implementado en la automatización y la robótica.

En el 2005 con la finalidad de crear un dispositivo de control integrado que fuera más barato y de fácil acceso para los estudiantes comparado con todos los programas disponibles de esa época se decidió llevar a cabo el “Proyecto Arduino”, el cual es una plataforma de hardware libre que fundamenta su funcionamiento en una placa de entradas y salidas (VITAL, 2021).

Actualmente existen una gran variedad de placas Arduino las cuales se diferencian por el número de pines digitales y analógicos; la memoria y la frecuencia del reloj de microcontrolador que esta posee; la placa de Arduino más conocida es denominada Arduino UNO y cuyos componentes son los especificados en la Figura 7.16.

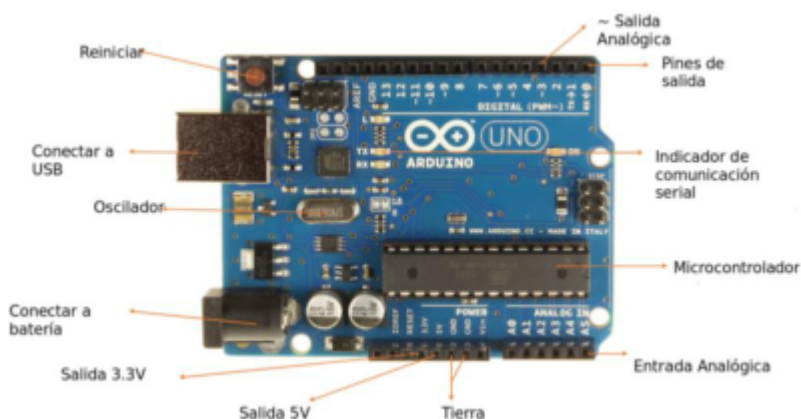


Figura 7.16. Componentes de la Tarjeta Arduino UNO (VITAL, 2021).

La placa Arduino UNO es considerado la primera en aparecer en el mercado contando específicamente con un microcontrolador ATmega 320 de 8 bits a 16 MHz 5V, una memoria flash de 32 kB con 0.5 kB reservados para el bootloader, 2 kB de SRAM y 1 kB de EEPROM; además de poseer 14 pines digitales y 6 analógicos.

Al realizar programación lo más representativo es el hardware, sin embargo, todos estos no funcionarían de manera correcta sin el apoyo del software en el cual se establecen las instrucciones y parámetros que serán necesarios para controlar el funcionamiento de la placa y sus componentes; dicho software se encuentra disponibles para diferentes tipos de dispositivos y es posible acceder de manera libre.

Como un apoyo para todas aquellas personas principiantes en el tema de la programación, es posible realizar el uso de un simulador virtual conocido como “Virtual Bread Board” en el cual se pueden realizar pruebas y prácticas para así verificar el funcionamiento de estas, para así después poder implementadas de manera correcta evitando dañar algunos de los componentes utilizados (VITAL, 2021).

7.16 PROGRAMACIÓN EN ARDUINO UNO

Para realizar la programación de una tarjeta Arduino Uno es necesario el uso de un código fuente escrito en un lenguaje de programación con el propósito de exhibir el comportamiento deseado; para realizar esta programación es necesario el conocimiento en diversas áreas, además del dominio de los lenguajes a utilizar, algoritmos y lógica formal utilizada en el programa Arduino.

Para facilitar la programación, los científicos del área decidieron utilizar palabras o letras provenientes del idioma inglés que reemplazará todas las grandes secuencias de instrucciones creando de esta manera un lenguaje conocido como Assembly o lenguaje ensamblador.

De acuerdo con el Manual de Programación Arduino (RUIZ, 2007) el lenguaje de programación de Arduino es muy simple compuesto dos partes fundamentales las declaraciones o variables (setup) y las instrucciones o funciones (loop). El setup será la parte designada para realizar la declaración de las variables mientras que el Loop ejecutará de forma cíclica las instrucciones se necesitan que el programa realice; al escribir las instrucciones es muy común que se encuentre con los siguientes símbolos y para garantizar una correcta programación es necesario conocer su funcionamiento:

- Llaves: Son utilizadas para definir el principio y el final de un grupo de instrucciones.
- Punto y coma: Separa las instrucciones o elementos.
- Diagonal con asterisco: comúnmente denominado como bloque de comentario o multilínea, este símbolo es utilizado por los programadores para colocar descripciones o comentarios que faciliten la comprensión del programa por otras personas siendo estos ignorados por el programa.
- Doble diagonal: cumplen la misma función de las multilíneas sin embargo estas son empleadas para describir de manera detallada el funcionamiento de alguna instrucción.

Entre las funciones más utilizadas en una programación Arduino se encuentran las siguientes:

- PinMode: se establece el modo del pin de entrada y salida.
- AnalogRead: lee un voltaje análogo de un pin de entrada análoga.
- AnalogWrite: utilizado para escribir un voltaje análogo a un pin de salida análoga.
- DigitalRead: leer el valor de un pin de entrada digital.
- DigitalWrite: se utiliza para establecer el valor de voltaje de un pin de salida digital para alta o baja.
- Serial.print: datos guardados en el puerto serie como texto ASCII legible.

Actualmente, con los avances en el área de programación existen una gran variedad de manuales en la web mediante los cuales comprender el funcionamiento del lenguaje de programación es más fácil, además de contar con programaciones ya establecidas por los fabricantes de las piezas electrónicas.

7.17 MULTÍMETRO

Desde la antigüedad el hombre ha desarrollado diferentes aparatos que lo ayuden a realizar su trabajo de una manera más sencilla y rápida, anteriormente existían tres aparatos indispensables para todas aquellas personas que se dedicaban al estudio de cualquier ámbito de la electrónica: el amperímetro, el voltímetro y el óhmetro; dichos dispositivos eran fabricados con materiales pesados y cuyas dimensiones resultaban ser bastante incómodas para quien necesita transportarlos.

De acuerdo con algunos historiadores se dice que en 1920 el Ingeniero Donald Macadie frustrado de tener que llevar tantos instrumentos para trabajar en las líneas de telecomunicaciones de la Oficina de Correo Británica decidió crear un dispositivo en el cual se encontraban integrados los tres dispositivos de mayor utilidad; creando así el “Multímetro AVO” O “AVOMeter”.

El dispositivo creado por el Ingeniero Macadie era voluminoso en comparación con el multímetro utilizado en la actualidad como se muestra en la Figura 7.17, sin embargo, este fue evolucionando de manera rápida hasta convertirse en un dispositivo portátil pero el cual se encontraba limitado a la medición de corriente continua.

En uno de los rediseños que se le realizó al multímetro para incrementar sus capacidades y cualidades se determinó incorporar el rectificador de óxido de cobre mediante el cual ya era posible realizar mediciones de corriente alterna e incrementar los rangos de medición (HERNÁNDEZ, 2020).



Figura 7.17. Multímetro diseñado por el ingeniero Macadie (HERNÁNDEZ, 2020).

7.18 FUNCIONAMIENTO TEÓRICO

De acuerdo con Coello (2012) esencialmente este dispositivo se basaba en la utilización de un instrumento de medida denominado galvanómetro, el cual consta por una aguja indicadora la cual se encuentra unida mediante un resorte espiral al eje de rotación de una bobina rectangular suspendida entre los polos opuestos de un imán y en el interior se encuentra un núcleo de hierro el cual concentra las líneas de inducción magnética; cuando la corriente circule por la bobina se producirá una fuerza sobre la bobina haciendo que esta rote moviendo así la aguja que se encuentra unida a su eje.

Además de estar constituida por el galvanómetro también se encuentra conformado por la escala múltiple, la cual permite leer los valores de las diferentes magnitudes obtenidas, un conmutador que permite cambiar a las diferentes funciones que este posee. Continuando con lo propuesto por Coello (2012) internamente el multímetro posee tres circuitos básicos, los cuales se describen a continuación:

AMPERÍMETRO

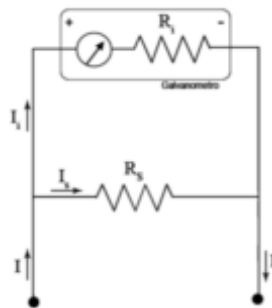


Figura 7.18. Diseño del circuito de un amperímetro (Coello, 2012).

Para conseguir trabajar con el amperímetro es necesario realizar el circuito mostrado en la Figura 7.18, comenzando por conectar una resistencia R_s en paralelo con el instrumento de medida, el valor de dicha resistencia dependerá del valor en amperios que se quiera alcanzar cuando la aguja llegue al límite de la escala, es decir, si queremos escalas de 10 miliamperios, 100 miliamperios y 1 amperios serán necesarias de tres resistencias R_s conmutables.

Para determinar el valor de dichas resistencias será necesaria la aplicación de la Ley de Ohm

$$\overline{R_s} = \frac{\overline{I_i} R_i}{I - \overline{I_i}} \quad (\text{EC.1})$$

De esta manera se determina el valor que R_s tendrá cuando por el galvanómetro pase I_i mA cuando en el circuito exterior circulen I mA.

VOLTÍMETRO

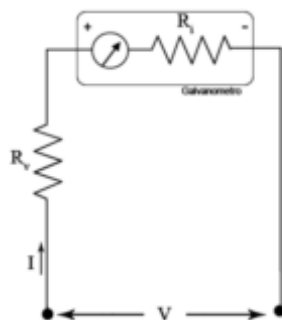


Figura 7.19 Diseño del circuito de Voltímetro (Coello, 2012).

Para obtener un correcto funcionamiento será necesario ejemplificar el circuito mostrado en la Figura 7.19 conectando una resistencia en serie con el instrumento de medida, dicho valor de la resistencia dependerá de los voltios que se pretende alcanzar, es decir, si requerimos 10, 20, 50 o 200 voltios, se requerirán cuatro resistencias de valores diferentes. Para conocer el valor de la resistencia que se deben utilizar será necesario la aplicación de la siguiente ecuación

$$V = \overline{I_i} (R_i + \overline{R_v}) \quad (\text{EC. 2})$$

Recordando que denominaremos a I_i como el valor de la intensidad que se debe aplicar en el multímetro para que la aguja se mueva.

ÓHMETRO

Si se decide utilizar la función de Óhmetro podremos medir la tolerancia en Ohmios de las resistencias que tengamos.

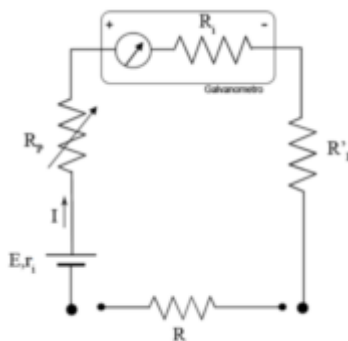


Figura 7.20 Diseño del circuito de óhmetro (Coello, 2012).

En la composición de este circuito representado en la Figura 7.20 será necesario añadir una resistencia de protección (R'_p) a la resistencia variable que se encuentra en la R_p , además se deberá incluir una pila la cual hará circular la corriente, siendo las magnitudes la fuerza electromotriz denominada E y la resistencia interna R_i .

El primer paso que debe seguir es hacer cortocircuitar la resistencia a medir R para que de esta manera ajustemos la resistencia variable R_p y así lograr el movimiento de la aguja, dicha intensidad será obtenida mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$E = I_i (R_i + r_i + R_p + R'_p)$$

(EC. 3)

Esencialmente esta era la composición de los multímetros análogos que se utilizaban con mayor frecuencia en el ámbito industrial; sin embargo, con el avance y la innovación de los diferentes prototipos y productos ya existentes el multímetro ha sufrido una gran cantidad de cambios obteniendo un dispositivo compacto con una mejor y mayor cantidad de funciones.

7.19 MULTÍMETRO DIGITAL

Un multímetro digital es un dispositivo o instrumento electrónico utilizado principalmente para realizar mediciones de magnitudes eléctricas como son las corrientes, diferencias de potencial, resistencias capacidades, etc.; las cuales pueden realizarse tanto para corrientes alternas como para corrientes continua (UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, 2020). Por otro lado, en la Figura 7.21 se puede observar la representación de las partes del multímetro



Figura 7.21. Componentes de un multímetro digital (Universidad de Buenos Aires, 2020).

- 1.- Interruptor: dependiendo del modelo de multímetro que se posee la ubicación del interruptor cambiará, sin embargo, este siempre se encontrará presente para facilitar el apagado del dispositivo cuando este no se encuentra en uso.
- 2.- Display: se refiere a la pantalla en la cual será posible observar los valores que se obtienen con cada medición eléctrica que realiza, en muchos dispositivos también es posible observar diferentes íconos que proporcionen más información como el nivel de batería del dispositivo, el modo en el cual se encuentra ya se corriente alterna o corriente directa, etc.
- 3.- Selector de rango: este se encuentra ubicado en la parte central del dispositivo conformado por un botón que gira en dirección de las manijas del reloj o en muchos casos en ambos sentidos y con ella se selecciona la magnitud que se desea medir, así como establecer el rango que corresponde al tipo de magnitud que se está utilizando; todos estos rangos se encuentran establecidos mediante símbolos y números colocados alrededor de dicho botón.
- 4.- Cables: para lograr realizar las diferentes mediciones será necesario la utilización de dos cables de diferente color (negro y rojo) los cuales tienen una punta especial que será introducida en el dispositivo dependiendo de las magnitudes que se desean medir.

5.- Entradas: El dispositivo cuenta con tres entradas diferentes en las cuales se deberán colocar los cables; el cable color negro deberá ser introducido en la entrada denominada como “COM”, mientras que el cable de color rojo será introducido en cualquiera de las dos entradas restantes dependiendo de las magnitudes que se deseen medir.

6.- Sondas: se le denominadas sondas a las agujas que se encuentra en los cables que son introducidos dentro del multímetro; siempre se debe considerar que el cable rojo se encuentra representando la parte positiva, mientras que el cable negro representa la parte negativa.

7.- Fuentes de energía: al tratarse de un dispositivo electrónico este requerirá de una fuente de energía para su funcionamiento, normalmente al tratarse de dispositivos relativamente pequeños fáciles de transportarse se emplea una batería de 9 voltios se ubica en la parte posterior del dispositivo debajo de una funda de silicón que en la mayoría de los modelos se encarga de proteger a dicho dispositivo ante cualquier inconveniente.



DESARROLLO EXPERIMENTAL



8. DESARROLLO EXPERIMENTAL

La presente investigación conlleva una serie de procesos experimentales mediante los cuales se desarrolla un sistema para la generación de energía eléctrica mediante la captación de los electrones liberados en el sustrato de las plantas. En la Figura 8.1 se presenta el proceso que se llevara a cabo para lograr dicho objetivo.



Figura 8.1. Diagrama de flujo del diseño metodológico.

CONDICIONES INICIALES

Con la finalidad de verificar la funcionalidad de una pila de combustible propuesta por Nishio y Hashimoto (2010) se realizó una prueba preliminar para comprobar la influencia de los organismos vegetales en la generación de energía eléctrica mediante el principio de fotosíntesis.

Para lograr la generación de energía es necesario captar los electrones y protones liberados en el sustrato de las plantas mediante la colocación de dos electrodos metálicos; el primero de este denominado cátodo

se encargará de atraer los electrones positivos (e^+) mientras que al encargado de atraer los electrones (e^-) negativos se les denominará ánodo (STEVEN & LEDESMA, 2019).

Para conseguir la captación de los electrones y realizar las pruebas experimentales se emplearon como electrodos base dos tornillos de acero inoxidable como los mostrados en la Figura 8.2; sobre uno de ellos se realizó un embobinado con aproximadamente 4 metros de alambre de cobre (Cu) de 0.1 mm, mientras que en segundo tornillo se hizo un embobinado similar con 4 metros de alambre de aluminio (Al) de 0.1 mm.



Figura 8.2. Electrodo base de acero inoxidable con embobinado de cobre (Cu) y aluminio (Al) (cátodo y ánodo).

Para realizar dicha prueba se utilizó una celda (maceta) cuyas dimensiones son de 12 cm de alto (h) y un diámetro (d) de 16 cm, dentro de la cual se colocó tierra vegetal y se colocaron dos electrodos como los mencionados anteriormente. En seguida se elabora una segunda celda con características similares, en tanto que, esta tenía un organismo vegetal (planta) dentro de esta; con un multímetro se procedió a realizar las mediciones de voltaje y corriente que fluye en los sistemas como se muestra en la Figura 8.3 y 8.4.



Figura 8.3. Prueba demostrativa de una celda sin organismo vegetal (planta).



Figura 8.4. Prueba demostrativa de una celda con organismo vegetal (planta).

Como se puede observar en la Figura 8.3, el multímetro no muestra evidencia de energía eléctrica dentro de la celda mientras que en la Figura 8.4, la cual cuenta con la presencia de un organismo vegetal, este muestra flujo de electrones corroborando así lo propuesto por Nishio y Hashimoto (2010) esto indica que es necesario la presencia de un organismo vegetal el cual libere sustancias orgánicas (reacción química) a través de las raíces que serán aprovechadas por los microorganismos presentes en la tierra realizando así una serie de procesos químicos cuyo resultado principal es la generación de electricidad.

8.1 ETAPA 1: IDENTIFICACIÓN DE LOS ORGANISMOS A UTILIZAR

Para seleccionar los ejemplares vegetales en los cuales se realizaron las pruebas experimentales se debe considerar uno de los factores con mayor influencia en el proceso de desarrollo de las plantas: su capacidad para captar la mayor cantidad de luz posible, de esta forma los organismos vegetales cuyo requerimiento de luz solar sea medio es decir “semisombra” poseerán hojas de mayor tamaño favoreciendo así el proceso de fotosíntesis puesto que son las encargadas de recibir la luz del sol mediante la abertura de las estomas que las conforman, por consecuencia los organismos vegetales tendrán un correcto desarrollo además de facilitar su cuidado (Ecología verde, 2024)

A continuación, se describen los organismos vegetales que posiblemente tengan dicha característica y son de fácil adquisición ya que se encuentran en la mayoría de los viveros de la zona metropolitana, además de tener un rápido crecimiento y requerir de cuidados básicos.

1. POTO

En México la planta de Poto es conocida comúnmente como “teléfono” esto debido a que se trata de una planta cuyas hojas tienen forma de corazón como se observa en la Figura 8.5 y pueden alcanzar una altura máxima de 20 metros con tallos de aproximadamente de 4 cm de diámetro lo cual permite esta

pueda trepar y engancharse en la superficie creando así una guía que asemeja al cable de un teléfono doméstico.



Figura 8.5. Imagen representativa de la planta POTO (*Epipremnum aureum*).

Pertenece al género *Pothos* conocida científicamente como *Epipremnum aureum* reconocida por su capacidad de purificar el aire, absorbiendo y eliminando las sustancias tóxicas que se encuentran en el entorno.

CUIDADOS Y REPRODUCCIÓN

En cuanto a sus cuidados se trata de una planta bastante resistente puesto que únicamente requiere tomar de cuatro precauciones, es decir, iluminación indirecta y riegos constantes, dejando que el sustrato seque más allá de la capa superficial evitando que al regarla se produzcan encharcamientos.

Si se requiere trasplantarla es recomendable realizar este proceso una vez al año en primavera para así evitar que esta se vea afectada por el cambio, sin embargo, si el POTO se encuentra en condiciones de exceso de humedad que pueda provocar la muerte de la planta puede realizar siempre teniendo especial cuidado en la conservación de las raíces de esta.

En cuanto a su ubicación es ideal colocarlo en espacio donde las ramas y hojas de esta puedan extenderse y desarrollarse plenamente para así alcanzar la longitud ideal, por este motivo estanterías, ventas y macetas colgantes siempre serán la mejor opción.

Se utilizaron los electrodos básicos en la planta (cátodo y ánodo) y con el apoyo de un multímetro se midió el nivel de corriente (i) y voltaje (v) que esta produce obteniendo así los resultados mostrados en la Figura 8.6 y 8.7; teniendo un valor de 45.7 mV y 30 mA respectivamente.



Figura 8.6. Lectura del Voltaje de la planta POTO.

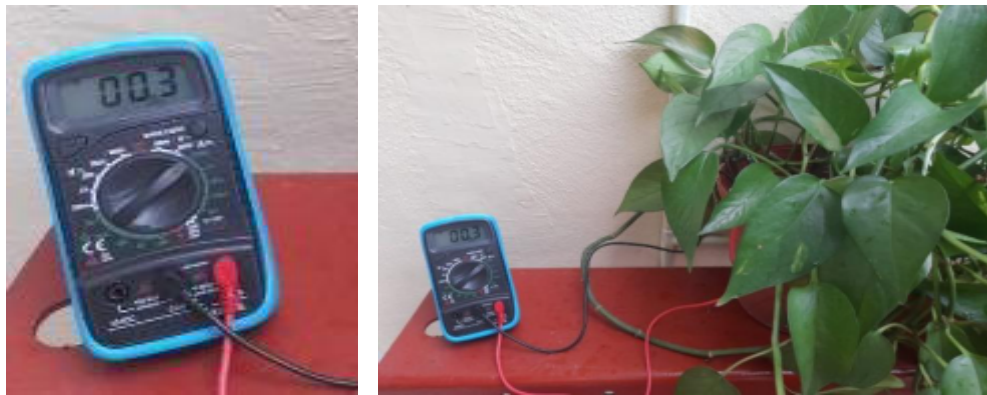


Figura 8.7. Lectura de Corriente de la planta POTO.

2. CINTAS

Planta conocida como cinta por la forma que presenta en sus hojas, también se le conoce como lazo de amor o mala madre esta planta pertenece a la familia Agavaceae cuyo nombre científico es *Chlorophytum comosum*; esta planta es proveniente de las regiones tropicales de África y Asia en donde se desarrolla en zonas protegidas de los rayos directos de sol.

Su principal característica son las hojas alargadas y afiladas cuyo color verde se ve manchado por algunos toques de amarillo y blanco como se puede observar en la Figura 8.8, las cuales pueden alcanzar una longitud de 15 cm a 75 cm.



Figura 8.8. Imagen representativa de la planta CINTA (*Chlorophytum comosum*).

Se puede describir a esta planta como una especie relativamente pequeña ya que no supera los 60 cm de altura, sin embargo, su tamaño no limita los grandes beneficios que esta puede aportar al medio que la rodea debido a que esta se encarga de renovar el aire contaminado por el monóxido de carbono consiguiendo eliminar el 96% de este en tan solo 24 horas.

Esta planta es capaz de eliminar el formaldehído, un componente que se encuentra presente en todos los hogares pues este se encuentra en suelos, paredes, armarios, ropa e incluso en productos de limpieza e higiene personal; la cinta es capaz de eliminar 560 microgramos de formaldehído por hora, pero también es capaz de eliminar el tolueno un componente utilizado en los combustibles y el xileno presente en el humo de tabaco, pinturas y lacas, aunque en menores cantidades.

CUIDADOS Y REPRODUCCIÓN.

Para lograr un desarrollo óptimo de la cinta o mala madre es necesario que esta se encuentre ubicada en zonas que no reciban la luz directa del sol, ya que estos pueden provocar que las puntas de las hojas se tornen en color amarillo difícil de eliminar.

En cuanto al riego durante la primavera la frecuencia del riego aumenta siendo necesario que se realice por lo menos de 2 a 3 veces por semana, mientras que invierno esta disminuirá debido a que la humedad del sustrato se mantendrá por más tiempo. Una manera fácil de saber cuándo es necesario aplicar agua es permitir que el sustrato seque y así volver a humedecerlo solo cuando es necesario para la planta, evitando de esta manera tener un exceso de humedad que pueda provocar que las raíces de estas se pudran o deterioren.

En este sentido, se utilizaron los electrodos básicos en la planta (cátodo y ánodo) y con el apoyo de un multímetro se midió el nivel de corriente y voltaje que esta produce obteniendo así los resultados

mostrados en la Figura 8.9 y 8.10. Obteniendo un valor de 55.3 mV y 30 mA, como se indica en las figuras.



Figura 8.8. Lectura de Voltaje de la planta CINTA.



Figura 8.10. Lectura de Corriente de la planta CINTA.

3.- LIRIO DE LA PAZ

Científicamente conocida como *spathiphyllum* es una de las plantas más utilizadas para la decoración de espacios interiores debido a la elegante estética que esta presenta como se observa en la Figura 8.11. Originaria de las selvas tropicales de Colombia y Venezuela es posible encontrar a estas plantas en 40 variedades distintas por lo que es relativamente común encontrar en muchos países.

También denominada Cuna de Moisés o espatifilo se caracteriza por carecer de tallos, debido a que sus hojas brotan directamente de la raíz de la planta las cuales pueden alcanzar una longitud de 30 cm aproximadamente; durante su tiempo de florecimiento presenta una flor con forma de espiga color crema.



Figura 8.11. Imagen representativa de la Planta LIRIO DE LA PAZ (*spathiphyllum*).

CUIDADOS Y REPRODUCCIÓN

Al tratarse plantas de originaria de las selvas tropicales de América e islas de Pacífico necesita de condiciones similares a las de su habitat natural para poder sobrevivir, por lo que esta debe colocarse en espacios exteriores que no reciban luz del sol de manera directa ya que esto podría provocar que las hojas se quemen evitan así el florecimiento y desarrollo de la planta.

Sin embargo, es una planta sumamente delicada a las bajas temperaturas soportando temperaturas mínimas de 10°C, siendo ideal que la temperatura ambiental no se encuentre por debajo de los 15°C.

El lirio de Paz presenta una alta demanda de humedad, necesitando de un suelo o sustrato que se encuentre permanente húmedo; esta condición permite que pueda mantenerse en hidroponía, siempre y cuando se agregue frecuentemente fertilizante al agua.

Es recomendable limpiar las hojas continuamente con ayuda de un paño limpio o rociando agua sobre estos, de esta manera eliminaremos todo el polvo concentrado en estas y así la planta podrá realizar el proceso de fotosíntesis de una manera más eficiente.

Se instalan los electrodos básicos en la planta y con un multímetro digital se mide el valor de corriente y voltaje que esta produce obteniendo así los resultados observados en la Figura 8.12 y 8.13. Esta planta produce un voltaje de 101.2 mV y 80 mA.



Figura 8.12. Lectura del Voltaje de la Planta Lirio de la Paz.



Figura 8.13. Lectura de Corriente de la Planta Lirio de la Paz

4.-LAVANDA

La lavanda pertenece a la familia Lamiaceae la cual tiene como miembros la menta, el romero, salvia y albaca, plantas aromáticas que pueden vivir hasta 20 años en condiciones óptimas. Se caracteriza por su aspecto de arbusto aromático con una altura aproximada de 60 cm, el cual como se muestra en la Figura 8.14 presenta flores moradas productoras de altos niveles de aceite esencial de alta demanda por la baja toxicidad y la alta acción antiséptica y antimicrobiana.



Figura 8.14. Imagen representativa de la Planta de LAVANDA (*Lavandula angustifolia*).

CUIDADOS Y REPRODUCCIÓN

Se cultivan mediante la plantación de semillas durante el otoño, debido a que la floración de esta llega a su máximo punto entre la primavera y el verano haciendo de esta una planta muy resistente ante la luz directa del sol y a las bajas temperaturas de invierno, sin embargo, esta misma resistencia provoca la rápida reproducción de esta por lo que es recomendable no colocarla cerca de otras plantas que impidan su crecimiento.

Si se decide colocar a la planta en una maceta esta debe tener un diámetro mínimo de 30 o 40 cm, además de un buen drenaje para evitar el estancamiento del agua ya que no requiere de un sustrato húmedo por el contrario únicamente debe regarse una o dos veces por semana logrando así un equilibrio en la humedad de este.

Además de su cualidad aromática tan representativa, a la lavanda se le atribuyen una gran cantidad de propiedades tanto medicinales como cosmetológicas; en el ámbito farmacéutico, la lavanda es utilizada por:

- ❖ Favorecer la digestión y evitar los mareos.
- ❖ Calmar el dolor de cabeza y músculos.
- ❖ Aliviar las picaduras, quemaduras y heridas.
- ❖ Uso como sedante y antiinflamatorio.

Mientras que en el ámbito cosmetológico se utiliza como:

- ❖ Antioxidante, utilizado en cremas y tratamientos antiarrugas.
- ❖ Empleado en productos contra el acné y productos reguladores de sebo.
- ❖ Producción de productos capilares reguladores del pH del cuero cabelludo, de limpieza profunda, reduciendo la grasa y así combatiendo la caspa y caída del cabello.

En las pruebas, se utilizaron los electrodos básicos (cátodo y ánodo) en la planta, con un multímetro se midió el valor de corriente y voltaje que esta producía obteniendo así los resultados observados en la Figura 8.15. y 8.16; obteniendo un valor de 86 mV y 21 mA, respectivamente.



Figura 8.15. Lectura de Voltaje de la Planta Lavanda.

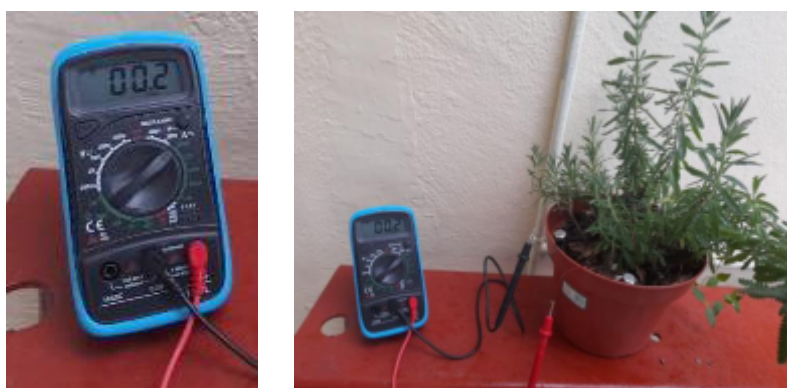


Figura 8.16. Lectura de Corriente de la Planta Lavanda.

5.- SINGONIO

Conocida como cabeza de flecha y cuyo nombre científico es *Syngonium Podophyllum* es una de las plantas más populares utilizadas para la decoración de interiores no solo en México sino también en el mundo debido a sus características y sus poco cuidados.

Se trata de una planta perteneciente a la familia de las Aráceas las cuales son originarias de las selvas tropicales de América Latina, como se puede observar en la Figura 8.17 se caracteriza principalmente por la forma de sus hojas capaces de alcanzar una longitud de dos metros debido a su gran capacidad de crecimiento presentando siempre un color verde con detalles blancos.



Figura 8.17. Imagen representativa de la Planta SINGONIO (*Syngonium podophyllum*).

CUIDADOS Y REPRODUCCIÓN

Los singonios requieren de abundante iluminación, sin embargo, esta debe ser de manera indirecta pues si se coloca a la planta bajos los rayos del sol esta se quemará al ser poco resistente por lo cual es recomendable colocarla en lugares donde la luz penetre a través de cristales. No es recomendable colocar este tipo de plantas en zonas donde se tienen inviernos muy fríos o temperaturas extremadamente bajas por la baja resistencia que estas presentan ante las temperaturas inferiores a las 15 °C.

Al realizar el riego se debe tener en cuenta que al tratarse de una planta originaria de las selvas tropicales requeriría de una alta demanda de humedad por esta razón será necesario la revisión del sustrato para evitar que este se encuentre seco, siempre considerando evitar el encharcamiento del agua debido a que esto puede ocasionar que las raíces se pudran.

Una manera de realizar el riego de manera efectiva es colocar la maceta sobre una charola y plata en el cual se pueda colocar agua; de esta manera la planta absorberá únicamente el agua que considere necesaria para poder sobrevivir. Al igual que el lirio de paz esta requiere de una limpieza constante de las hojas ya que en muchas ocasiones el polvo que se acumula en estas puede provocar que el proceso de fotosíntesis no se realice de manera correcta.

Se utilizaron los electrodos básicos en la planta (cátodo y ánodo) y con un multímetro se midió el nivel de corriente y voltaje que esta produce obteniendo así los resultados observados en la Figura 8.18 y 8.19; de esta manera se tiene un voltaje de 147.9 mV y una corriente de 31 mA.



Figura 8.18. Lectura del Voltaje de la Planta Singonio.



Figura 8.19. Lectura de Corriente de la Planta Singonio.

6.- CAMEDOR DE CAMBRAY

Conocida como camedorea, palmera de salón o pacaya y cuyo nombre científico es *Chamaedorea elegans* es una pequeña palmera utilizada muy popularmente como planta de interior; caracterizada por tener tallos delgados similares de la caña de azúcar los cuales pueden alcanzar una longitud de 2 de altura como se muestra en la Figura 8.20.

Originaria principalmente en América Latina se desarrolla de manera óptima en interiores mediamente iluminados y sin necesidad de requerir calefacción.



Figura 8.20. Imagen representativa de la Planta Camedor de Cambray (*Chamaedorea elegans* mart).

CUIDADOS

No es una planta exigente de luz, por lo que puede sobrevivir en entornos poco iluminados, sin embargo, esta se desarrolla de manera óptima en lugares donde reciba mucha iluminación indirecta de lo contrario sus hojas se dañaran irremediablemente comenzando a caracterizarse por un color amarillo en las puntas de estas.

Al realizar el riego es necesario considera que es más importante la frecuencia que la cantidad de agua que se utiliza siendo en los días cálidos necesario realizar el riego 5 veces a la semana mientras que en la temporada de bajas temperaturas únicamente se deberá realizar 2 veces a la semana; para que el sustrato cuente con un buen drenaje para evitar el estancamiento del agua y como consecuencia la putrefacción de las raíces.

Se instalaron los electrodos básicos (cátodo y ánodo) en la planta y con el apoyo de un multímetro se mide el valor de corriente y voltaje que esta produce obteniendo así los resultados observados en la Figura 8.21 y 8.22; teniendo un voltaje 77.8 mV y una corriente de 20 mA.



Figura 8.21. Lectura del Voltaje de la Planta Camedor de Cambray.



Figura 8.22. Lectura de Corriente de la Planta Camedor de Cambray.

7.- MARGARITA

Es difícil determinar el origen de las Margaritas debido a que estas se encuentran presentes en casi todo el mundo, sin embargo, la más común es esta es la *Chrysanthemum Frutescens* procedente de las Islas Canarias y cuyo diámetro es de aproximadamente 3 a 5 cm.

Como se muestra en la Figura 8.23 se caracteriza por tener un botón central de color dorado o amarillo rodeado por alrededor de 20 a 30 pétalos cuya forma es delgada y alargada, los cuales pueden encontrarse en diferentes tonos.



Figura 8.23. Imagen representativa de la Planta MARGARITA (*Bellis perennis*).

CUIDADOS

Como todas las plantas provenientes de zonas tropicales requiere de un desarrollo a temperaturas de entre 15°C y 25°C, aunque es muy resistente a temperaturas muy bajas. Debido a esta resistencia puede encontrarse ubicada en zonas de luz directa del sol o semisombra.

Por lo general el riego debe realizar cada 2 o 3 días a la semana durante la primavera y una vez cada 15 días en temporada de invierno

Se instalaron los electrodos básicos (cátodo y ánodo) en la planta y con un multímetro se mide el valor de corriente y voltaje que esta produce obteniendo así los resultados observados en la Figura 8.24 y 8.25, esta planta indica un voltaje de 116.2 mV y una corriente de 60 mA.



Figura 8.24. Lectura del Voltaje de la Planta Margarita.

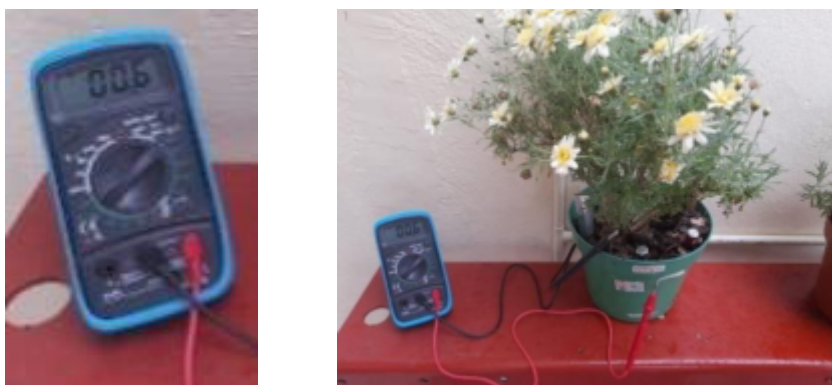


Figura 8.25. Lectura de Corriente de la Planta Margarita.

8.- PINO ENANO

La palabra Pino proviene del latín pinus la cual hace referencia a los cuerpos grandes resinosos; el pino enano es uno de los pinos de más fácil cuidado, crecimiento y adaptación al medio en el que se encuentra.

Se destaca por el limitado crecimiento que este presenta en comparación con los pinos tradicionales, alcanzando un máximo de 3 metros de altura lo cual se considera relativamente pequeño contra los 30 metros de altura que pueden alcanzar las diferentes especies de pino que se localizan en los bosques de México.

Como se observa en la Figura 8.26 sus hojas se caracterizan por ser largas, verdes puntiagudas y delgadas, las cuales miden de 4 a 6 centímetros y se encuentran unidas en grupos de 5 aproximadamente.



Figura 8.26. Imagen representativa del Pino Enano (*Pinus culminicola*).

CUIDADOS

Al igual que los pinos convencionales, el pino enano presenta una excelente resistencia permitiendo que este soporte temperaturas extremadamente frías o calurosas, aunque se recomienda que este crezca en temperaturas de entre los 10°C y los 25°C.

El riego dependerá de la época del año en la cual se encuentre, durante el verano el riego deberá ser muy abundante para asegurarnos que el sustrato siempre se encuentre húmedo, mientras que en la temporada invernal bastara con dispersar un poco de agua.

Al tener un crecimiento rápido será necesario eliminar las hojas muertas, enfermas o dañadas para después recortar las puntas para así lograr un mejor desarrollo de los nuevos brotes, además conseguiremos que el pino tenga un aspecto más compacto y la prevención de la propagación de agentes patógenos.

Para este sistema se instalaron los electrodos básicos (cátodo y ánodo) en la planta y con un multímetro se mide el valor de corriente y voltaje que esta produce obteniendo así los resultados observados en la Figura 8.27 y 8.28. Teniendo un voltaje de 99.8 mV y una corriente de 30 mA para este organismo.



Figura 8.27. Lectura del Voltaje del Pino Enano.



Figura 8.28. Lectura de Corriente del Pino Enano.

9.- ALCATRAZ

También conocida como Lirio de Agua, Aro de Etiopía o Cala, es una planta originaria de la Región del Cabo, Sudáfrica; estas plantas florecen de primavera a otoño caracterizadas por un agradable perfume.

Como se observa en la Figura 8.29 presentan hojas muy lustrosas con bordes ondulados aguzadas hacia la punta, con flores que consisten en un espádice de dedo amarillo, el cual está rodeado por una bráctea brillante en forma de embudo; generalmente crecen hasta alcanzar un metro veinte o un metro cincuenta de altura.

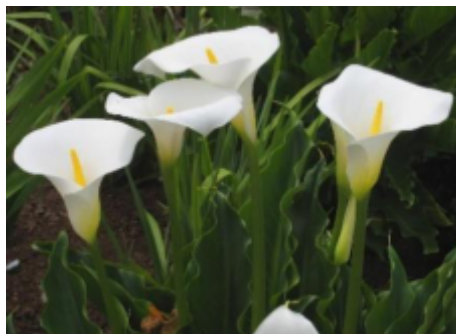


Figura 8.29. Imagen representativa de la Planta Alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*).

CUIDADOS

El Lirio de Agua o alcatraz como su nombre lo dice es una excelente planta que puede ser cultivada en los bordes de los estanques debido a su alta demanda de agua convirtiéndola en la planta ideal para personas que suelen recurrir al riego frecuente considerando que esto será idóneo durante el periodo de crecimiento de esta ya que una vez que comience el periodo de florecimiento será necesario reducir el riego para mantener el sustrato seco. En épocas invernales su resistencia a las bajas temperaturas incrementa siempre y cuando esta se encuentre sumergida en agua, de lo contrario esta será afectada gravemente por lo que es aconsejable tenerlas en interiores.

Se instalaron los electrodos básicos (cátodo y ánodo) en la planta y con el apoyo de un multímetro se mide el valor de corriente y voltaje que esta produce, obteniendo así los resultados observados en la Figura 8.30 y 8.31; se indica un voltaje de 50 mV y una corriente de 20 mA.



Figura 8.30. Lectura del Voltaje de la Planta Alcatraz.



Figura 8.31. Lectura de Corriente de la Planta Alcatraz.

Una vez terminadas las pruebas de voltaje y corriente en todos los sistemas estudiados, se seleccionaron los tipos de plantas a utilizar considerando los resultados obtenidos durante las pruebas, además tomando en cuenta aquellas que tienen grandes hojas para facilitar así la captación de los rayos del sol y que el proceso de fotosíntesis se pueda realizar de una manera más eficiente.

Obteniendo como resultado los datos indicados en la Tabla 8.1; por lo tanto, de estos resultados se deriva que los organismos vegetales utilizados para la elaboración de los prototipos estudiados durante el proceso de experimentación serán: el lirio de la paz, el singonio y la margarita estos presentan mayor energía que las demás plantas estudiadas.

Tabla 8.1 Resultados del Análisis del voltaje y corriente.

EJEMPLAR	VOLTAJE (mV)	CORRIENTE (mA)	EFICIENCIA %	
			VOLTAJE (mV)	CORRIENTE (mA)
POTO	40	30	28.57%	37.50%
CINTA	50	30	35.71%	37.50%
LIRIO DE LA PAZ	100	80	71.43%	100.00%
LAVANDA	80	20	57.14%	25.00%
SINGONIO	140	30	100.00%	37.50%
CAMEDOR DE CAMBRAY	70	20	50.00%	25.00%
MARGARITA	110	60	78.57%	75.00%
PINO ENANO	90	30	64.29%	37.50%
ALCATRAZ	50	20	35.71%	25.00%

8.2 ETAPA 2: ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS

CONDICIONES INICIALES.

Para la realización de la etapa 2 se elaboraron seis ejemplares por cada prototipo considerando así que cada uno de estos tuviera dos ejemplares de los seleccionados durante la etapa 1, los cuales fueron colocados en celdas (macetas) idénticas considerando sus dimensiones, además de ser sometidos a las mismas condiciones ambientales, teniendo en cuenta que los cuidados para cada uno de estos fueran idénticos proporcionando a cada ejemplar la misma cantidad de agua durante el proceso de riego, sin embargo durante el proceso de adaptación (2 semanas) algunos ejemplares no tuvieron un desempeño óptimo por lo cual fueron excluidos del proceso experimental.

De acuerdo a lo establecido por Shlosberg (2022) en su artículo publicado en la revista *Frontiers in Plant Science* para lograr la obtención de la energía producida mediante el uso de las plantas se debe utilizar dos elementos conductores denominados ánodo y cátodo los cuales siguiendo el principio de la reacción redox captarán los electrones que se liberan durante el proceso; estos electrodos se colocarán directamente en el sustrato siempre considerando que debe haber una separación considerable entre estos para ello cada planta será colocada en una maceta de un diámetro de al menos 10 cm para así lograr un correcto desarrollo de las raíces de las plantas, además de contar con el espacio necesario para que ninguno de los electrodos se encuentre en contacto directo.

Para el desarrollo de la investigación se decidió utilizar como electrodos principales, el cobre (Cu) y el aluminio (Al), ya que en comparación de materiales como la madera y el plástico estos son más resistentes a las condiciones naturales a las que se encuentran expuestas las plantas, sin embargo, al formular la hipótesis sobre la influencia del tamaño y forma de estos en la captación de electrones se determinó elaborar 5 prototipos distintos que se indican a continuación:

1. Prototipo 1: Celda eléctrica con electrodos de cilindros sólidos.
2. Prototipo 2: Celda eléctrica con ánodo de espiral y cátodo de rejilla
3. Prototipo 3: Celda eléctrica con tubo de aluminio y tubo de cobre
4. Prototipo 4: Celda eléctrica con láminas de metal cátodo de aluminio y ánodo de cobre.
5. Prototipo 5: Celda eléctrica con cátodo y ánodo de láminas externas de cobre y aluminio.

PROTOTIPO 1 “CELDA ELÉCTRICA CON ELECTRODOS DE CILINDROS SÓLIDOS”

Se encuentra conformado por dos tornillos de acero con recubrimiento galvanizado cuyo diámetro es de $\frac{1}{2}$ " (13 mm) y un largo de $1 \frac{1}{2}$ " (38 mm). Uno de ellos (cátodo) se encuentra cubierto de alambre de cobre esmaltado de 0.1 mm y con una longitud de 4 m; el segundo tornillo (ánodo) se encuentra cubierto por alambre de aluminio esmaltado de 0.1 mm y con una longitud de 4 m.

En un contenedor de 12 cm de alto y un diámetro de 16 cm se coloca como sustrato tierra vegetal combinada con hojarasca hasta llenar aproximadamente 5 cm de la esta, luego se coloca la planta (organismo vegetal) cuidando no dañar la raíz y se procede a rellenar el faltante del contendor con el resto de la tierra vegetal hasta conseguir que las raíces se encuentren cubiertas correctamente. Los electrodos son enterrados en de forma paralela dentro de la maceta cuidando que todo el embobinado quede dentro de la tierra vegetal como se muestra en la Figura 8.32, a este armado se le conoce como celda eléctrica (maceta).

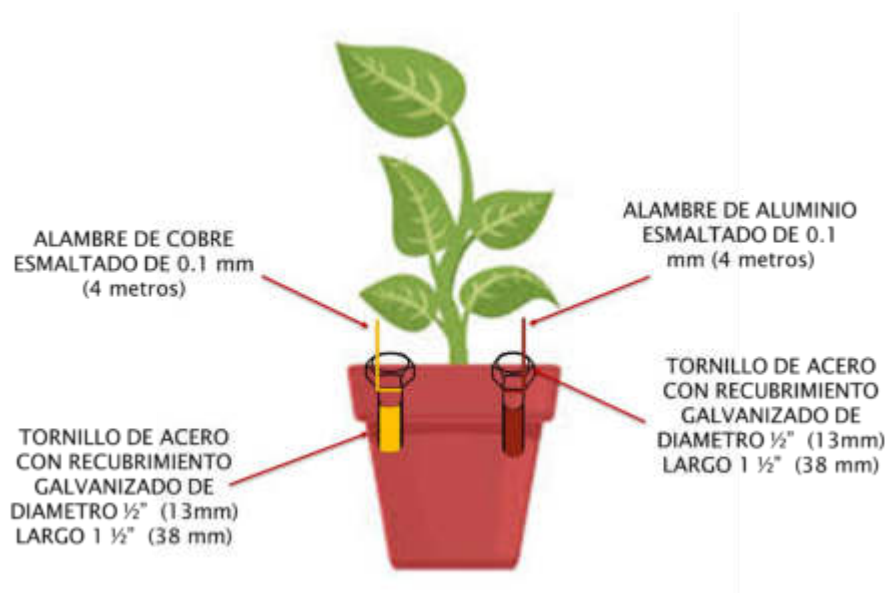


Figura 8.32. Prototipo 1 celda eléctrica con electrodos de cilindros sólidos.

Para llevar a acabo la experimentación y observar el los valores de voltaje y corriente se realizaron 5 modelos de este prototipo denominado a cada uno como A1, A2, A3, A4, A5 respectivamente como se muestra en la Figura 2.33.



Figura 8.33. Modelos representativos del Prototipo 1.

PROTOTIPO 2 “CELDA ELÉCTRICA CON ÁNODO DE ESPIRAL Y CÁTODO DE REJILLA”

El ánodo mostrado en la Figura 8.34 se conforma por un espiral de alambre de cobre esmaltado de 0.1 mm y con una longitud de 6 metros, mientras que el cátodo se encuentra compuesto por una malla hexagonal de acero galvanizado de calibre 22 con forma de círculo cuyo diámetro es de 10 cm, a dicha pieza se encuentra soldado un alambre de aluminio esmaltado de 0.1 mm de una longitud de 25 cm como se observa en la Figura 8.35.



Figura 8.34. Imagen representativa del Ánodo espiral de alambre de cobre.

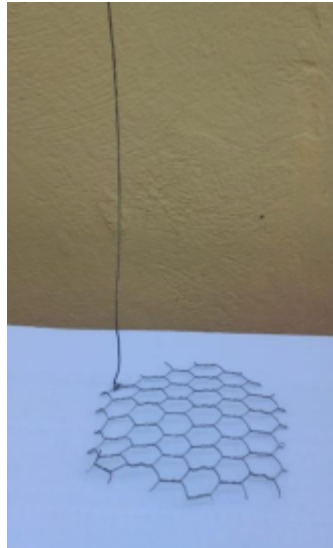


Figura 8.35. Imagen representativa del cátodo malla de acero con alambre de aluminio.

La malla o rejilla se encuentra colocada en el fondo de la celda permitiendo que el alambre de aluminio salga a la superficie, dicha malla es cubierta con la combinación de tierra vegetal y hojarasca para posteriormente colocar el espiral de alambre de cobre. Entre ambos materiales debe existir una separación de 10 cm aproximadamente y estos deben salir a la superficie de manera paralela, se coloca la planta sobre estos cuidando la raíz tenga la posición correcta y su desarrollo sea pleno; finalmente se rellena el restante de la maceta con la tierra vegetal previamente humedecida con agua natural para así garantizar una adaptación rápida de la planta. De esta manera el Prototipo 2 deberá estar constituido como se indica en la Figura 8.36.

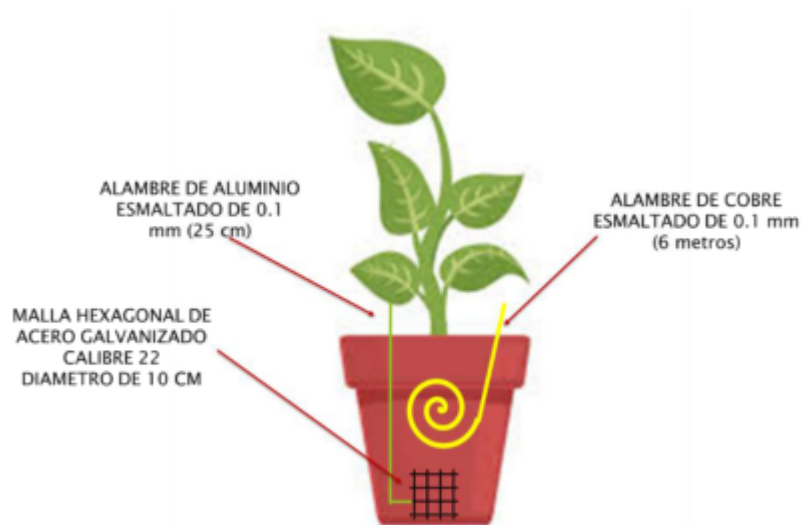


Figura 8.36. Prototipo 2 celda eléctrica compuesta por un ánodo de espiral y cátodo de rejilla.

Para llevar a acabo la experimentacion y poder observar el los niveles de voltaje y corriente se realizaron 3 modelos de este prototipo denominado a cada uno de B1, B2 y B3 respectivamente como se muestra en la Figura 8.37.



Figura 8.37 Modelos representativos del Prototipo 2.

PROTOTIPO 3 “CELDA ELÉCTRICA CON TUBO DE ALUMINIO Y TUBO DE COBRE”

Para la elaboración de este prototipo se sigue el mismo procedimiento realizado para llevar a cabo la elaboración del prototipo 1 sin embargo los electrodos que son incrustados en el sustrato como se muestras en el diagrama de la Figura 8.38, estos se encuentran compuestos por dos tubos: un tubo cobre de $\frac{1}{2}$ “de diámetro y con una longitud de 17 cm, de forma paralela se incrusta un tubo de aluminio de $\frac{1}{2}$ ” de diámetro y 18 cm de largo.

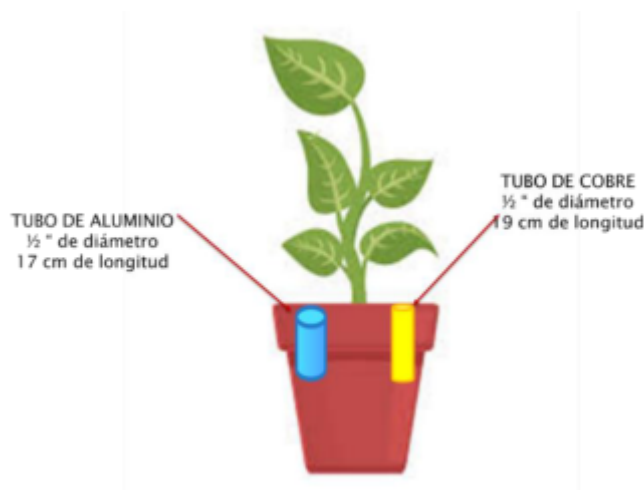


Figura 8.38. Prototipo 3, celda eléctrica con tubo de aluminio y tubo de cobre.

Para llevar a acabo la experimentacion y poder observar el los niveles de voltaje y corriente se realizaron 3 modelos de este prototipo denominado a cada uno de C1, C2 y C3 respectivamente como se muestra en la Figura 8.39.



Figura 2.39. Modelos representativos del Prototipo 3.

PROTOTIPO 4 “CELDA ELÉCTRICA CON LÁMINAS DE METAL”

Como se muestra en la Figura 8.40 este prototipo se encuentra compuesto por una lámina de cobre de 18 cm de longitud y 5 cm de ancho, la cual es colocada de manera paralela a una lámina de aluminio de 17 cm de longitud y 5 cm de ancho; dichas láminas son incrustadas en el sustrato de una celda elaborada siguiendo el mismo procedimiento del prototipo 1.

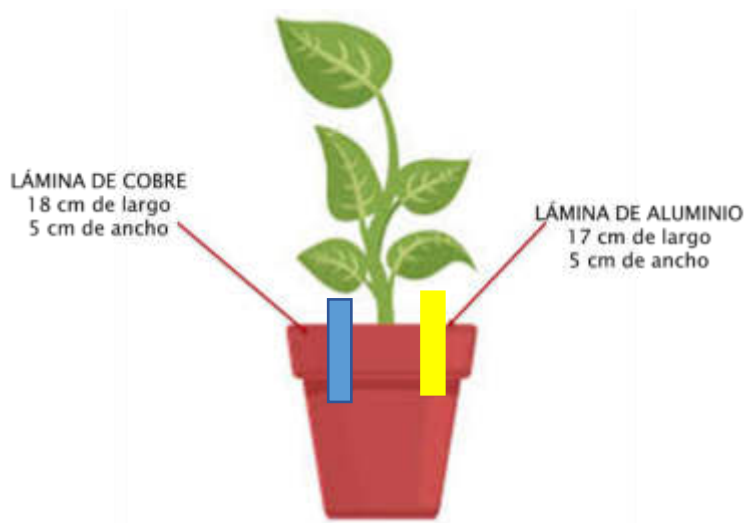


Figura 8.40. Prototipo 4, celda eléctrica con láminas de metal.

Para llevar a acabo la experimentacion y observar los niveles de voltaje y corriente se realizaron 3 modelos de este prototipo denominado a cada uno de D1, D2 y D3 respectivamente como se muestra en la Figura 8.41.



Figura 8.41. Modelos representativos del Prototipo 4.

PROTOTIPO 5 “CELDA ELÉCTRICA CON LÁMINAS EXTERNAS DE COBRE Y ALUMINIO”

Como se representa en el diagrama de la Figura 8.42 se encuentra conformado por una lámina de cobre de 17 cm de longitud y 5 cm de ancho sujeta por la parte exterior de la maceta por dos tornillos de acero galvanizado; de forma paralela se coloca una lámina de aluminio de 18 cm de largo y 5 cm de ancho, sujeta por dos tornillos de acero galvanizado.

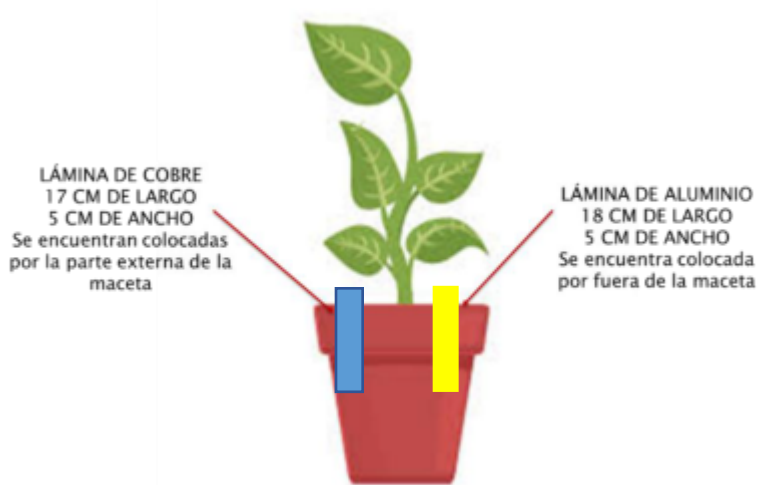


Figura 8.42 Prototipo 5, celda eléctrica con láminas externas de cobre y aluminio.

Para llevar a acabo la experimentacion y poder observar el los niveles de voltaje y corriente se realizaron 3 modelos de este prototipo denominado a cada uno de E1, E2 y E3 respectivamente como se muestra en la Figura 8.43.



Figura 8.43. Modelos representativos del Prototipo 5.

8.3 ETAPA 3: RECOLECCIÓN MANUAL Y ANÁLISIS DE DATOS

CONDICIONES INICIALES

Una vez elaborados los prototipos se procede a la obtención de las lecturas de los voltajes de los diferentes prototipos con un multímetro configurándolo en mV, registrándolos en una tabla considerando incluir el día y hora en la que se están recolectando los datos para así observar si existen una influencia de las condiciones ambientales en la energía obtenida.

PROTOTIPO 1 “ELECTRODOS DE CILINDROS SÓLIDOS”

Recolectando de manera manual los niveles de voltaje en mV del primer prototipo se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 8.2.

Tabla 8.2. Lectura del voltaje Prototipo 1

FECHA	HORA	1A	1B	1C	1D	1E	1F
10-mar	10:38 A.M	54	36	50	75	79	65
12-mar	04:45 P.M	85	65	79	80	81	69
14-mar	12:10 A.M	89	84	59	60	63	72
15-mar	05:00 P.M	124	113	112	100	163	106
17-mar	03:15 P.M	92	96	100	85	83	96
20-mar	11:15 P.M	56	45	63	72	75	64
20-mar	05:20 P.M	130	90	130	114	138	100
22-mar	03:30 P.M	88	60	107	90	140	170
23-mar	05:36 P. M	110	107	123	125	108	102

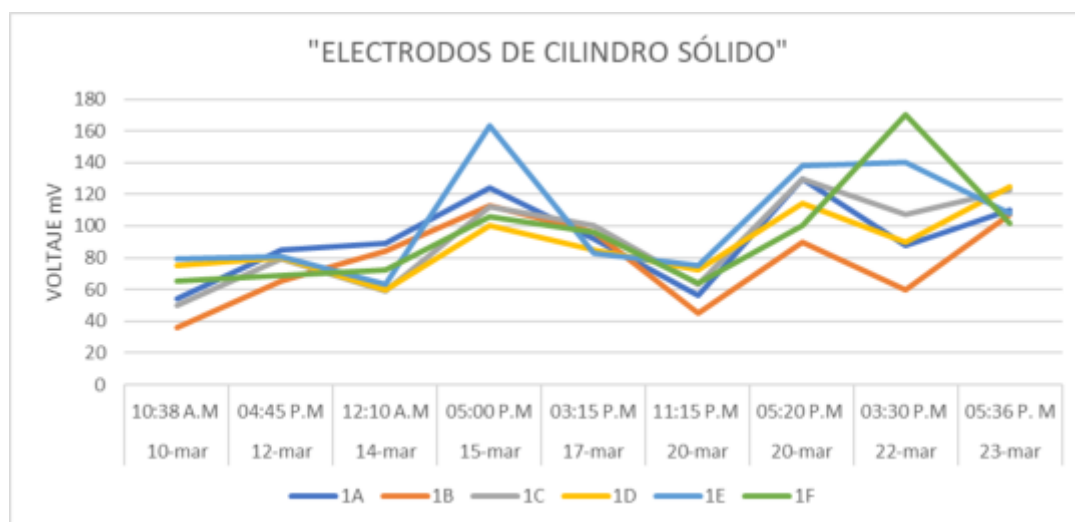


Figura 8.44. Gráfica de datos lecturas de voltaje del prototipo 1.

Se puede observar en la Figura 8.44 que existe una gran variación en los primeros días ya que durante esta etapa el organismo pasa por un periodo de adaptación en el cual necesita de una mayor cantidad de energía para poder desarrollarse ampliamente en el nuevo sustrato.

Los electrodos de este prototipo se encuentran en contacto directo con el sustrato de la planta, sin embargo, estos no cubren el total del área superficial de la celda permitiendo así que las raíces tengan un desarrollo óptimo pero ocasionando que la recolección de energía sea menor; una vez que el periodo de adaptación a terminado se observa cómo los niveles de voltaje son mayores y se mantienen constantes teniendo una variación en el momento del día en el cual la planta está recibiendo una cantidad equilibrada de sol y sombra; es decir esta no está expuesta a altos niveles de radiación ni a la oscuridad total ya que al ser un organismo vegetal al cual no le favorece la exposición directa a los rayos del sol, pero se observa que a las 17:00 hrs, es el momento más óptimo para que este sistema desarrolle mayor energía.

PROTOTIPO 2 “CELDA ELÉCTRICA CON ÁNODO DE ESPIRAL Y CÁTODO DE REJILLA”

Al experimentar con el prototipo 2, se obtuvieron los datos en mV presentados en la Tabla 8.3:

Tabla 8.3. Lectura del Voltaje del Prototipo 2

FECHA	HORA	2A	2B	2C	2D
10-mar	10:38 A.M	60	35	52	49
12-mar	04:45 P.M	90	105	108	110
14-mar	12:10 A.M	45	52	34	60
15-mar	05:00 P.M	112	110	125	132
17-mar	03:15 P.M	90	85	96	102
20-mar	11:15 P.M	60	55	65	71
20-mar	05:20 P.M	102	110	130	128
22-mar	03:30 P.M	90	85	73	78
23-mar	05:36 P. M	107	102	113	125

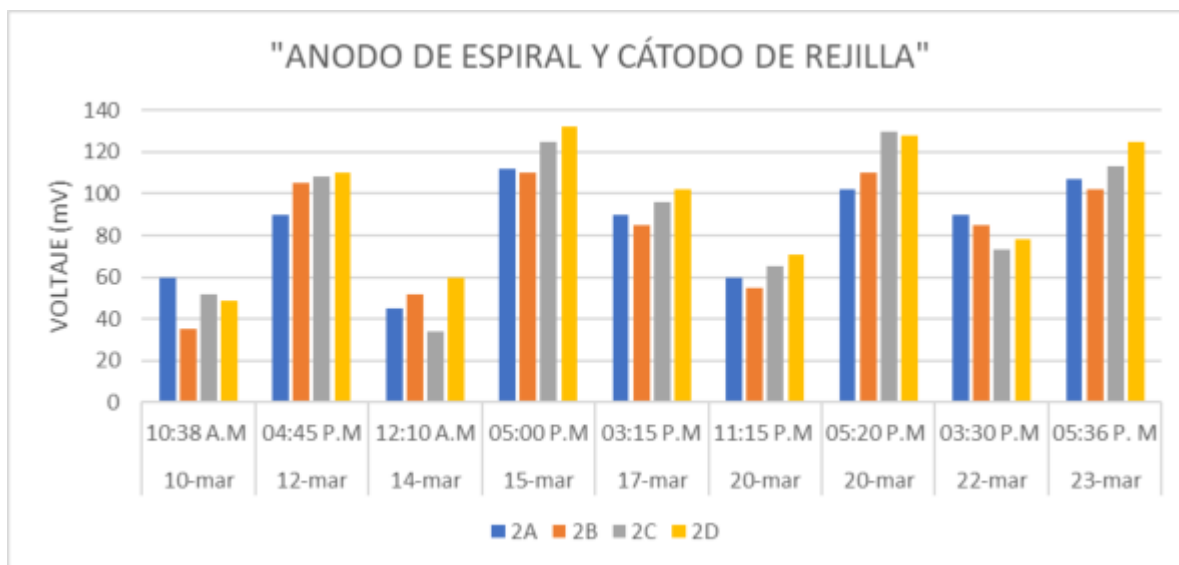


Figura 8.45 Gráfica de datos lecturas del voltaje del prototipo 2

Analizando la gráfica presentada en la Figura 8.45 y la estructura del prototipo; al estar conformado por una rejilla que cubre el total del área superficial de la celda se observa que existe una influencia en los niveles de voltaje, ya que estos son mayores en comparación con el prototipo anterior a pesar de encontrarse bajo las mismas condiciones ambientales.

Se observa que en este prototipo los niveles de voltaje son mayores en comparación con lo obtenidos durante los primeros días de evaluación del prototipo 1; así mismo se observa valores de voltaje son mayores en el momento que el organismo vegetal no se encuentra expuesta a altas temperaturas siendo las 17 hrs.

PROTOTIPO 3 “CELDA ELÉCTRICA TUBO DE ALUMINIO Y TUBO DE COBRE”

Apoyandonos del multímetro digital, se recabaron los niveles de voltaje en mV obtenidos del prototipo 3 agrupandos en la Tabla 8.4.

Tabla 8.4. Lectura del voltaje del Prototipo 3.

FECHA	HORA	3A	3B	3C
10-mar	10:38 A.M	61	52	48
12-mar	04:45 P.M	72	79	86
14-mar	12:10 A.M	69	75	59
15-mar	05:00 P.M	109	90	87
17-mar	03:15 P.M	85	83	86
20-mar	11:15 P.M	60	57	53
20-mar	05:20 P.M	102	108	103
22-mar	03:30 P.M	79	82	83
23-mar	05:36 P. M	115	112	123

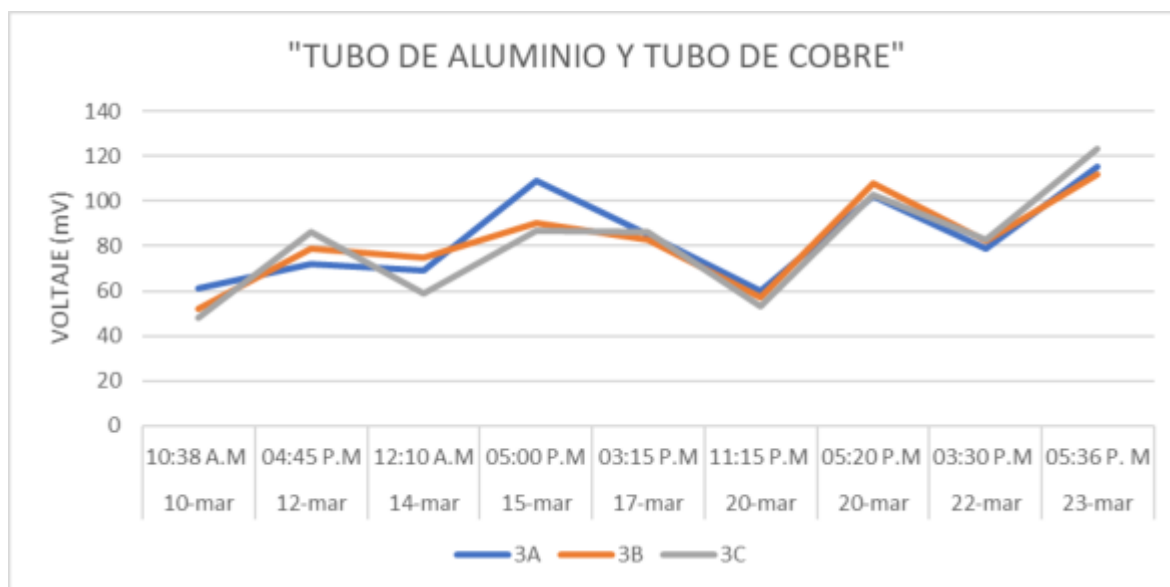


Figura 8.46 Gráfica de datos lectura del voltaje del prototipo 3.

Analizando si existe una influencia del área que se encuentran en contacto directo con el sustrato de las plantas en los niveles de voltaje se planteó la utilización de tubos de cobre y aluminio que al ser incrustados en la tierra de las diferentes celdas quedarían cubiertos por dentro y fuera por sustrato.

Al realizar las mediciones se colocaron los conectores del multímetro en contacto directo con el cobre y el aluminio, sin embargo, al analizar la gráfica presentada en la Figura 8.46 se puede observar cómo existe una gran variación en las mediciones obtenidas, siendo mejores a las 17:00 hrs.

PROTOTIPO 4 “CELDA ELÉCTRICA CON LÁMINAS DE METAL”

De manera similar con los prototipos anteriores se realizó la medición manual de los niveles de voltaje en mV, obteniendo así los datos presentados en la Tabla 8.5:

Tabla 8.5. Lectura del voltaje del prototipo 4

FECHA	HORA	4A	4B	4C
15-mar	05:00 P.M	35	40	39
17-mar	03:15 P.M	50	35	46
20-mar	11:15 A.M	52	48	60
20-mar	05:20 P.M	71	78	82
22-mar	03:30 P.M	72	75	65
23-mar	05:36 P.M	63	80	76

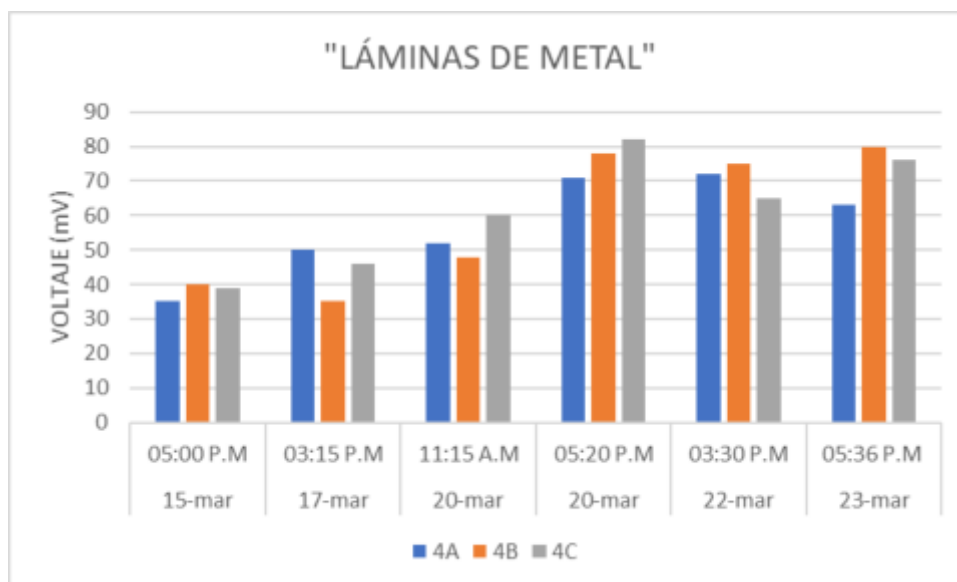


Figura 8.47 Gráfica de datos lectura del voltaje del prototipo 4.

Este prototipo en características es muy similar al anterior sin embargo al graficar los datos obtenidos durante la recolección manual se observa en la Figura 8.47 que existió una nivelación más rápida en comparación con los otros, pero no existió un incremento en los niveles del voltaje puesto que estos se mantuvieron constantes desde el inicio de adaptación hasta el final de este.

PROTOTIPO 5 “LÁMINAS EXTERNAS DE METAL”

Para finalizar con la recolección manual, se miden los niveles del voltaje (mV) en los ejemplares del prototipo 5 para después registrarlos en la Tabla 8.6.

Tabla 8.6 Lectura del Voltaje del Prototipo 5

FECHA	HORA	4A	4B	4C
15-mar	05:00 P.M	36	46	52
17-mar	03:15 P.M	48	36	49
20-mar	11:15 A.M	52	64	70
20-mar	05:20 P.M	65	60	68
22-mar	03:30 P.M	64	65	75
23-mar	05:36 P.M	72	76	76

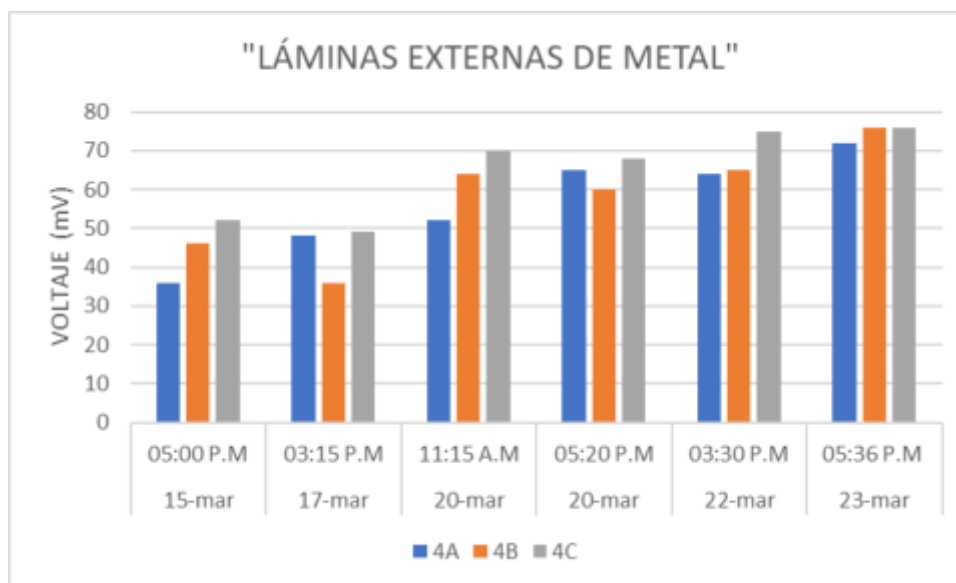


Figura 8.48 Grafica de datos Lectura del Voltaje del Prototipo 5.

En el prototipo 5, las láminas se encuentran colocadas por fuera de la celda por lo cual no tienen contacto directo con el sustrato de las plantas, sin embargo, los tornillos de acero que las sujetan, estos si se encuentran en contacto con el sustrato de estas, por lo cual como se observa una vez graficados los datos

en la Figura 8.48 los valores de voltaje son bajos comparados con los prototipos anteriores, en el que los electrodos están en contacto directo con el sustrato y las raíces de la planta.

Se puede concluir al momento, que en los primeros días en los que se iniciaron a registrar los datos y/o resultados de los diferentes prototipos las lecturas eran muy bajas, considerando como factor principal que la planta pasa por la adaptación al entorno y al sustrato en el que se coloca para lograr sobrevivir; los seres vegetales necesitan ajustar sus estructuras y metabolismos al suelo, el agua, la temperatura, etc., una vez culminada esta fase, las lecturas comenzaron a establecerse.

El principal factor al que necesitan adaptarse las plantas es el suelo, pues este es fuente de los minerales necesarios para el soporte de las plantas influyendo el pH, porosidad, nivel de permeabilidad y la salinidad que este posee, sin embargo, otro factor importante para permitir que las plantas aprovechen todos los nutrientes de la tierra es la temperatura.

Como dato importante, a nivel general una planta puede sobrevivir entre los 0° centígrados y los 45° grados debido a que, si se somete al organismo al punto de congelación, el agua almacenada en el suelo se congelará y esta no tendrá forma de absorberla, es por lo que en la segunda recolección de datos también se considera la temperatura ambiental y la humedad del suelo a la que los organismos se encuentran expuestos.

8.4 ETAPA 4: RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE ARDUINO UNO

CONDICIONES INICIALES

Finalizadas las pruebas con los ejemplares preliminares se determinó que el prototipo 1 “Electrodos de cilindros sólidos” y el prototipo 2 “Ánodo de espiral y cátodo de rejilla serían los recomendables para utilizarlos como prototipos base durante las siguientes etapas de la investigación; además con la finalidad de evitar variabilidad consecuencia del uso de distintos ejemplares vegetales únicamente se emplearan ejemplares del “lirio de la paz”, seleccionado por su rápida adaptación, crecimiento y resultados obtenidos durante la etapa anterior.

MEDICIÓN DEL NIVEL DE VOLTAJE

De los prototipos elaborados durante la Etapa 2 se seleccionó un ejemplar de la categoría “Electrodos de cilindros sólidos” para la llevar a cabo la medición del valor de voltaje que este presenta con un programa Arduino IDE; para esto se implementó la programación mostrada en la Figura 8.49.



Figura 8.49 Sketch o instrucciones para programar la medición del voltaje.

La conexión física es constituida como se puede observar en la Figura 8.50 por únicamente dos cables conectados al pin GND y al puerto A0 respectivamente; el electrodo de aluminio denominado cátodo como se conectó al pin GND y el electrodo de cobre denominado como ánodo se conectó al pin A0.

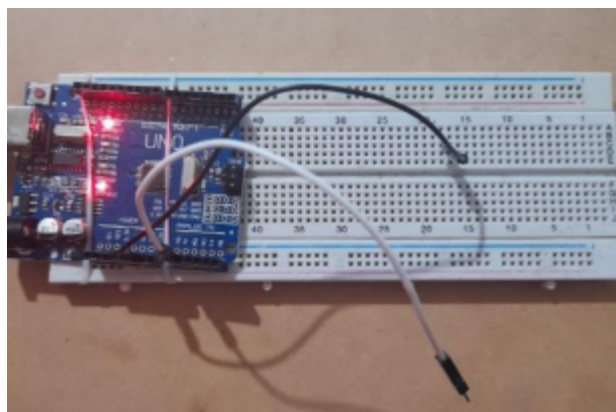


Figura 8.50. Conexión física de un Arduino UNO para la medición del voltaje.

Una vez cargada la programación a la tarjeta Arduino Uno se comienza a correr la programación durante veinte minutos aproximadamente registrado los datos por segundo, sin embargo, al ser un registro extenso utilizaremos los primeros cincuenta datos obtenidos con la programación mostrados en la Tabla 8.7 y con ellos realizamos el análisis estadístico de los datos presentados en la Tabla 8.8. Todos los datos obtenidos por la programación en Arduino IDE se encontrarán en el Anexo 1.

Tabla 8.7. Voltaje del prototipo 1 obtenido mediante Arduino Uno.

HORA	VOLTAJE (mV)		HORA	VOLTAJE (mV)		HORA	VOLTAJE (mV)
04:44:01 p. m.	227		04:44:25 p. m.	225		04:44:50 p. m.	225
04:44:02 p. m.	226		04:44:26 p. m.	227		04:44:51 p. m.	223
04:44:03 p. m.	222		04:44:27 p. m.	229		04:44:52 p. m.	222
04:44:04 p. m.	229		04:44:28 p. m.	223		04:44:53 p. m.	226
04:44:05 p. m.	221		04:44:29 p. m.	228		04:44:54 p. m.	223
04:44:06 p. m.	225		04:44:30 p. m.	223		04:44:55 p. m.	225
04:44:07 p. m.	222		04:44:31 p. m.	229		04:44:56 p. m.	224
04:44:08 p. m.	223		04:44:32 p. m.	221		04:44:57 p. m.	220
04:44:09 p. m.	229		04:44:33 p. m.	220		04:44:58 p. m.	224
04:44:10 p. m.	226		04:44:34 p. m.	223		04:44:59 p. m.	224
04:44:11 p. m.	229		04:44:35 p. m.	220		04:45:00 p. m.	222
04:44:12 p. m.	224		04:44:36 p. m.	226		04:45:01 p. m.	226
04:44:13 p. m.	220		04:44:37 p. m.	221		04:45:02 p. m.	227
04:44:14 p. m.	221		04:44:38 p. m.	229		04:45:03 p. m.	229
04:44:15 p. m.	224		04:44:39 p. m.	227		04:45:04 p. m.	225
04:44:16 p. m.	221		04:44:40 p. m.	220		04:45:05 p. m.	228
04:44:17 p. m.	222		04:44:41 p. m.	224		04:45:06 p. m.	221
04:44:18 p. m.	224		04:44:42 p. m.	220		04:45:07 p. m.	222
04:44:19 p. m.	225		04:44:43 p. m.	222		04:45:08 p. m.	223
04:44:20 p. m.	222		04:44:44 p. m.	228		04:45:09 p. m.	221
04:44:21 p. m.	228		04:44:45 p. m.	221		04:45:10 p. m.	222
04:44:22 p. m.	226		04:44:46 p. m.	228		04:45:11 p. m.	223
04:44:23 p. m.	221		04:44:47 p. m.	225		04:45:12 p. m.	227
04:44:24 p. m.	222		04:44:48 p. m.	227		04:45:13 p. m.	222
04:44:25 p. m.	225		04:44:49 p. m.	229		04:45:14 p. m.	227

Tabla 8.8. Análisis estadístico del voltaje prototipo 1.

VOLTAJE	
Media	224.38 mV
Error Estandar	0.433203539
Mediana	224
Moda	229
Desviacion Estandar	3.0632116
Variacion de la muestra	9.383265306
Curtosis	-1.34477291
Oblicuidad	0.13912562
Rango	9
Minimo	220
Maximo	229
Suma	11219
Contar	50
Nivel de Confianza (95.0%)	0.870555104

Analizando los primeros datos obtenidos, simplificando a la información en la gráfica presentada en la Figura 8.51 se puede notar que los valores de voltaje obtenidos por el prototipo evaluado tienen poca variación, sin embargo, en promedio podemos obtener 0.224 V (224 mV) del prototipo comparando dicho valor con los obtenidos durante la recolección manual, se puede notar que al tener un mayor desempeño de la planta los valores de voltaje incrementan.

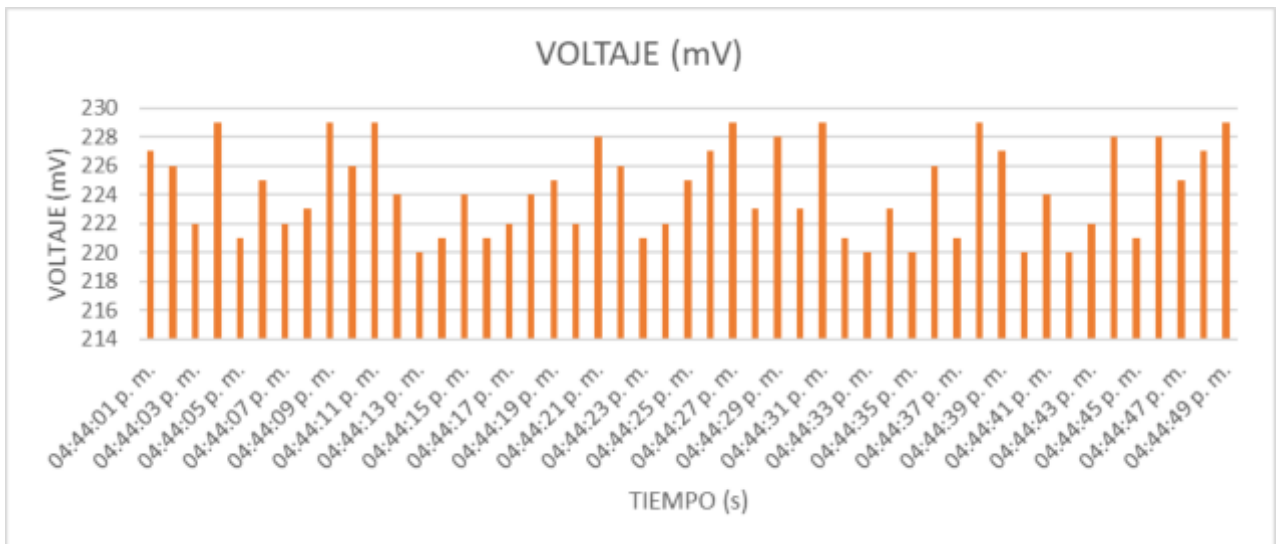


Figura 8.51. Gráfica de voltaje del prototipo 1.

SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DHT11

Para evaluar la influencia de la humedad y temperatura del medio que rodea a las distintas especies y organismos de estudio se utilizó un sensor de humedad y temperatura DHT11 como el señalado en la Figura 8.52; cuyos rangos de medición de dicho van desde el 20-90% RH (room humidity) con una precisión de más menos 5% para la variable de humedad, mientras que los rangos de medición para la variable de temperatura van desde el 0-50 °C con una presión de más menos 2°C.

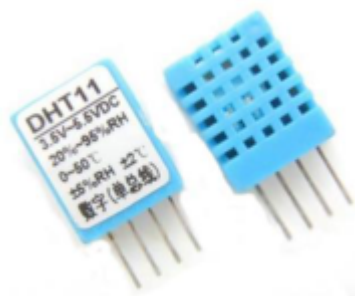


Figura 8.52. Sensor DHT11.

El sensor DHT11 consta de cuatro pines de los cuales únicamente se utilizarán los tres mostrados en la Figura 8.53, denominados como tierra (GND), Datos (DATA) y la entrada de voltaje en corriente directa (Vcc).

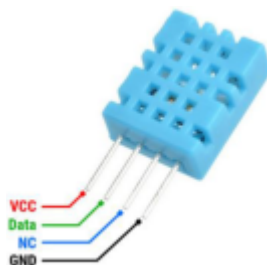


Figura 8.53. Pines del Sensor DHT11.

Existen múltiples tipos de sensores de humedad y temperatura en el mercado, los cuales incluyen un módulo o panel con el cual puede ser utilizado de manera sencilla, sin embargo, el modelo DHT11 mostrado anteriormente no cuenta con dicho panel por lo que es recomendable la utilización de una resistencia de 300 Ω para así garantizar su correcto funcionamiento; para realizar la conexión con la Tarjeta Arduino Uno se utilizó como referencia el diagrama base de la Figura 8.54 de esta manera obtuvimos el circuito físico mostrado en la Figura 8.55.

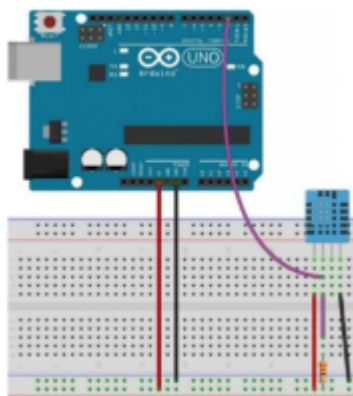


Figura 8.54. Diagrama base de la conexión del sensor DHT11

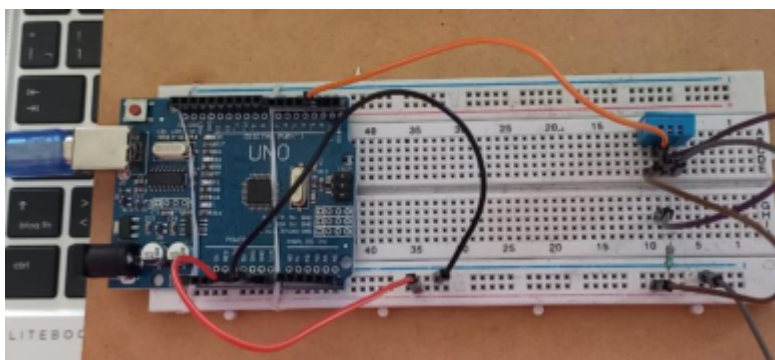


Figura 8.55. Conexión Física del Sensor DHT11

Una vez que todos los componentes se encuentran correctamente instalados, procedemos a realizar la programación de la tarjeta Arduino Uno desarrollando así los códigos necesarios; para ello fue necesario instalar la librería “DHT11.zip” ubicada en la carpeta de Librerías del Tutor de Arduino, finalizada la instalación de la librería se ingresa el código mostrado en la Figura 8.56.



```
sensor_2 Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

sensor_2
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>

int SENSOR = 2;
int TEMPERATURA;
int HUMEDAD;

DHT dht (SENSOR, DHT11);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
}
void loop() {
  TEMPERATURA = dht.readTemperature();
  HUMEDAD = dht.readHumidity();
  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.print(TEMPERATURA);
  Serial.print(" Humedad: ");
  Serial.print(HUMEDAD);
  Serial.println();
  delay(500);
}
```

Figura 8.56. Sketch Sensor DHT11.

Una vez que el código se encuentra listo para ser enviado a la tarjeta Arduino UNO se realizó una verificación de todas las líneas; al final dicha verificación que en la parte inferior derecha apareció la palabra “compilado” indicando que la programación a la tarjeta Arduino se encuentra instalada; revisando el monitor serial mostrado en la Figura 8.57 podemos notar que el sensor se encontraba funcionando de manera correcta.

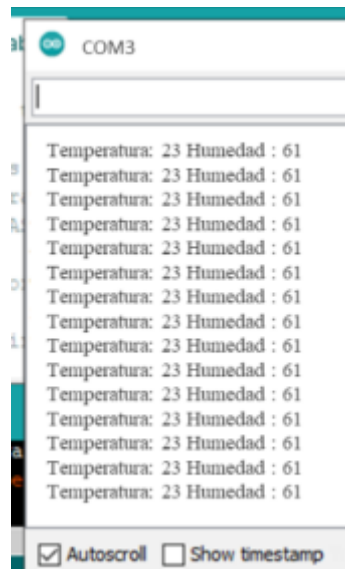


Figura 8.57. Monitor Serial Sensor DHT11.

RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.

Una vez que se implementaron las programaciones para recabar los datos tanto de los niveles de voltaje como de la temperatura y humedad que había en el ambiente se recabaron los datos mostrados en el monitor serial que nos proporciona el programa de Arduino UNO, sin embargo para facilitar la recolección y el análisis de los datos implemento el uso de la herramienta PLX DAQ; esta herramienta es un complemento de Microsoft Excel mediante la cual se pueden capturar hasta 26 canales de datos de un programa de Arduino. Una vez instalada esta herramienta en un dispositivo se ingresó la programación mostrada en Figura 8.58.



```
sketch_sep15a Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

sketch_sep15a

int SENSOR = 2;
int TEMPERATURA;
int HUMEDAD;
DHT dht (SENSOR, DHT11);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEAR SHEET");
  Serial.println("LABEL, Fecha, Hora, Voltaje, Sensor");
  Serial.println("RESET TIMER");
}
void loop() {
  int s1 = analogRead(A0);
  float Voltage = s1 * (5.0 / 1023.0);
  int s2 = analogRead(A1);
  float sensor1 = s1 * (5.0 / 1023.0);
  float sensor2 = TEMPERATURA = dht.readTemperature();
  HUMEDAD = dht.readHumidity();
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(TEMPERATURA);
  Serial.print(" Humedad: ");
  Serial.print(HUMEDAD);
  Serial.println();
  Serial.print("DATA, DATE, TIME, ");
  Serial.println(sensor1);
  Serial.print(", ");
  Serial.println(sensor2);
  delay(500);
}
```

Figura 8.58. Sketch Medición de voltaje, temperatura y humedad del prototipo 1.

Se compiló el programa durante aproximadamente 20 minutos registrando los datos cada segundo, sin embargo, al tratarse de un elevado número de datos se tomó una muestra de 100 registros los cuales se encuentran presentados en la Tabla 8.9 para posteriormente realizar el análisis estadístico mostrado en la Tabla 8.10, así como la gráfica correspondiente a la Figura 8.59.

Tabla 8.9. Voltaje, Temperatura y Humedad del Prototipo 1.

FECHA	HORA	VOLTAJE (mV)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)	FECHA	HORA	VOLTAJE (mV)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)
25-may	03:08:15 a. m.	221	19	72	25-may	03:09:05 p. m.	224	19	72
25-may	03:08:16 a. m.	226	19	72	25-may	03:09:06 p. m.	228	19	72
25-may	03:08:17 p. m.	222	19	72	25-may	03:09:07 p. m.	224	19	72
25-may	03:08:18 p. m.	222	19	72	25-may	03:09:08 p. m.	222	19	72
25-may	03:08:19 p. m.	224	19	72	25-may	03:09:09 p. m.	227	19	72
25-may	03:08:20 p. m.	223	19	72	25-may	03:09:10 p. m.	225	19	72
25-may	03:08:21 p. m.	220	19	72	25-may	03:09:11 p. m.	220	19	72
25-may	03:08:22 p. m.	224	19	72	25-may	03:09:12 p. m.	226	19	72
25-may	03:08:23 p. m.	222	19	72	25-may	03:09:13 p. m.	229	19	72
25-may	03:08:24 p. m.	220	19	72	25-may	03:09:14 p. m.	226	19	72
25-may	03:08:25 p. m.	228	19	72	25-may	03:09:15 p. m.	223	19	72
25-may	03:08:26 p. m.	222	19	72	25-may	03:09:16 p. m.	224	19	72
25-may	03:08:27 p. m.	220	19	72	25-may	03:09:17 p. m.	229	19	72
25-may	03:08:28 p. m.	223	19	72	25-may	03:09:18 p. m.	225	19	72
25-may	03:08:29 p. m.	225	19	72	25-may	03:09:19 p. m.	229	19	72
25-may	03:08:30 p. m.	223	19	72	25-may	03:09:20 p. m.	228	19	72
25-may	03:08:31 p. m.	228	19	72	25-may	03:09:21 p. m.	225	19	72
25-may	03:08:32 p. m.	229	19	72	25-may	03:09:22 p. m.	225	19	72
25-may	03:08:33 p. m.	225	19	72	25-may	03:09:23 p. m.	221	19	72
25-may	03:08:34 p. m.	229	19	72	25-may	03:09:24 p. m.	227	19	72
25-may	03:08:35 p. m.	222	19	72	25-may	03:09:25 p. m.	225	19	72
25-may	03:08:36 p. m.	229	19	72	25-may	03:09:26 p. m.	229	19	72
25-may	03:08:37 p. m.	226	19	72	25-may	03:09:27 p. m.	225	19	72
25-may	03:08:38 p. m.	223	19	72	25-may	03:09:28 p. m.	223	19	72
25-may	03:08:39 p. m.	223	19	72	25-may	03:09:29 p. m.	220	19	72
25-may	03:08:40 p. m.	220	19	72	25-may	03:09:30 p. m.	220	19	72
25-may	03:08:41 p. m.	221	19	72	25-may	03:09:31 p. m.	221	19	72
25-may	03:08:42 p. m.	227	19	72	25-may	03:09:32 p. m.	222	19	72
25-may	03:08:43 p. m.	229	19	72	25-may	03:09:33 p. m.	222	19	72
25-may	03:08:44 p. m.	226	19	72	25-may	03:09:34 p. m.	224	19	72
25-may	03:08:45 p. m.	229	19	72	25-may	03:09:35 p. m.	228	19	72
25-may	03:08:46 p. m.	222	19	72	25-may	03:09:36 p. m.	224	19	72
25-may	03:08:47 p. m.	223	19	72	25-may	03:09:37 p. m.	222	19	72
25-may	03:08:48 p. m.	228	19	72	25-may	03:09:38 p. m.	222	19	72
25-may	03:08:49 p. m.	222	19	72	25-may	03:09:39 p. m.	228	19	72
25-may	03:08:50 p. m.	229	19	72	25-may	03:09:40 p. m.	227	19	72
25-may	03:08:51 p. m.	227	19	72	25-may	03:09:41 p. m.	224	19	72
25-may	03:08:52 p. m.	222	19	72	25-may	03:09:42 p. m.	220	19	72
25-may	03:08:53 p. m.	220	19	72	25-may	03:09:43 p. m.	229	19	72
25-may	03:08:54 p. m.	223	19	72	25-may	03:09:44 p. m.	226	19	72
25-may	03:08:55 p. m.	221	19	72	25-may	03:09:45 p. m.	227	19	72
25-may	03:08:56 p. m.	228	19	72	25-may	03:09:46 p. m.	220	19	72
25-may	03:08:57 p. m.	226	19	72	25-may	03:09:47 p. m.	222	19	72
25-may	03:08:58 p. m.	222	19	72	25-may	03:09:48 p. m.	229	19	72
25-may	03:08:59 p. m.	221	19	72	25-may	03:09:49 p. m.	224	19	72
25-may	03:09:00 p. m.	226	19	72	25-may	03:09:50 p. m.	226	19	72
25-may	03:09:01 p. m.	223	19	72	25-may	03:09:51 p. m.	221	19	72
25-may	03:09:02 p. m.	226	19	72	25-may	03:09:52 p. m.	227	19	72
25-may	03:09:03 p. m.	225	19	72	25-may	03:09:53 p. m.	220	19	72
25-may	03:09:04 p. m.	221	19	72	25-may	03:09:54 p. m.	228	19	72

Tabla 8.10. Análisis estadístico del voltaje del prototipo 1

VOLTAJE	
Media	224.38 mV
Error Estandar	0.294659536
Mediana	224
Moda	222
Desviacion Estandar	2.946595365
Variacion de la muestra	8.682424242
Curtosis	-1.239080826
Oblicuidad	0.128363818
Rango	9
Mínimo	220
Máximo	229
Suma	22438
Contar	100
Nivel de Confianza (95.0%)	0.584668447

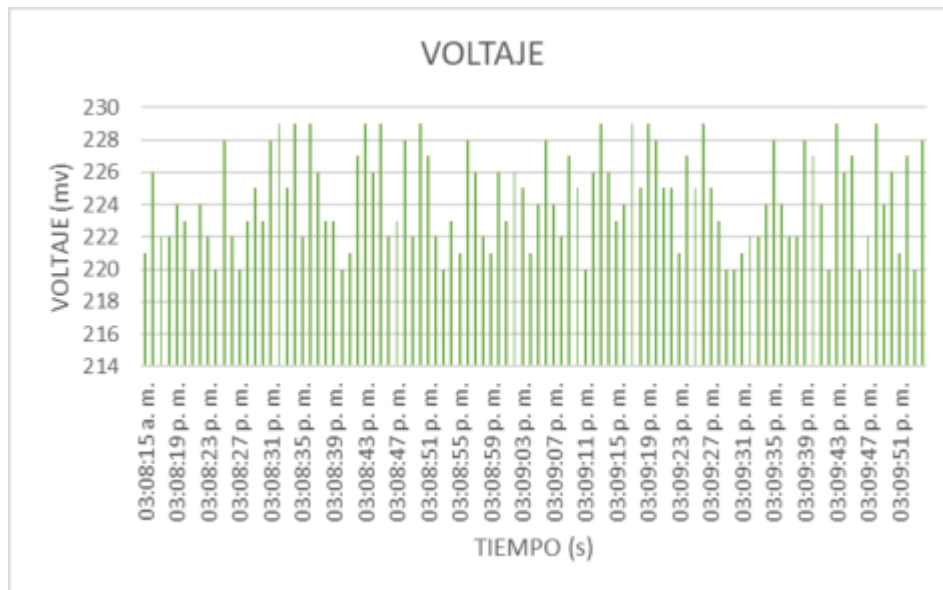


Figura 8.59 Grafica del voltaje del prototipo 1

Finalizado el análisis estadístico se observa que el nivel promedio de 0.224 V (224 mV) se mantiene sin importar las condiciones del medio en que la planta se encuentra ya que la temperatura y humedad del medio eran diferentes cuando se realizó la primera recolección automática.



ANÁLISIS DE RESULTADOS



9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizadas todas las pruebas se concluyó que los prototipos uno y dos logran una mayor generación de voltaje independientemente de las condiciones en las que se encuentren por lo cual se utilizaron como base para la elaboración del prototipo final mediante el cual se demostrará la generación de energía eléctrica realizando el agrupamiento de elementos eléctricos conectados entre sí los cuales permitan generar, transportar y utilizar la energía eléctrica.

Para lograr un mejor rendimiento del circuito los organismos vegetales se agruparán en serie, asegurando así que la corriente que atraviesa el primero de sus componentes será la misma que atraviese el último de estos; mientras que el voltaje total del circuito será la suma del nivel de voltaje que cada uno de los componentes posea.

Como primera prueba se realizó la conexión de cuatro ejemplares del prototipo 1 y cuatro ejemplares del prototipo 2 siguiendo el circuito mostrado en la Figura 9.1 considerando que todos estos eran ejemplares de la planta denominada “lirio de la paz”. Con ayuda de alambre de cobre y aluminio se unieron cada uno de los electrodos considerando que los elementos dentro de este circuito no son independientes, es decir, todos deben funcionar de manera simultánea para garantizar su correcto desempeño.

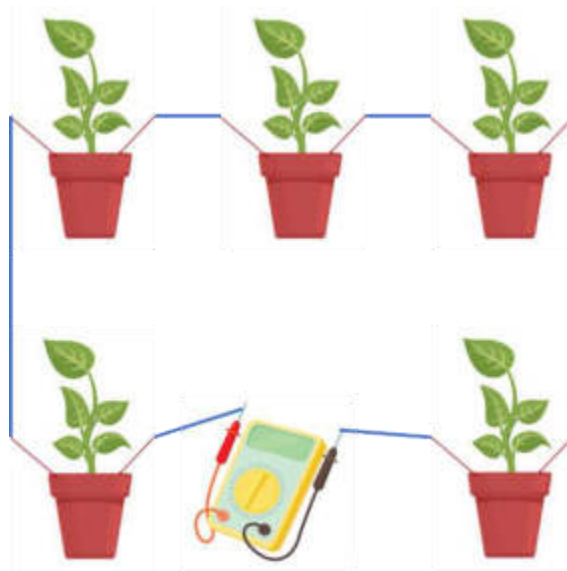


Figura 9.1. Conexión en serie.

Una vez que todos los elementos se encuentran conectados de acuerdo con el circuito en serie se procedió a la medición del valor de voltaje obteniendo así el resultado de 2.08 V (2080 mV) mostrado en la Figura 9.2.



Figura 9.2 Voltaje obtenido de la conexión en serie de 8 ejemplares.

En la figura anterior se observa que el voltaje total es bajo por lo cual se procedió a incrementar el número de ejemplares en la conexión en serie teniendo un total de 14 ejemplares en el circuito final: siete de estos corresponden al prototipo 1 y los siete restantes al prototipo 2. En la Figura 9.3 se observa el circuito que produce un voltaje total de 3.29 V (3290 mV).



Figura 9.3 Voltaje obtenido de la conexión en serie de 14 ejemplares.

Para demostrar la generación de la energía eléctrica se procedió a realizar un circuito compuesto por cuatro leds como el presentado en la Figura 9.4 cuyas especificaciones son las siguientes:

- Voltaje es de 2.1 Vcc
- Potencia 31.5 mW
- Intensidad luminosidad de 800 mcd
- Corriente de 15 mA

- Diámetro 5 mm



Figura 9.4 Imagen representativa del LED.

Para realizar la implementación del prototipo demostrativo se procede a realizar la conexión en paralelo de los cuatro LED's soldando todos los polos negativos a un mismo alambre y soldando todos los polos positivos a otro alambre, cuidando en ambos casos dejar un trozo de cable que servirá para realizar la unión con el circuito en serie de los ejemplares base del prototipo 1 y prototipo 2 además de designar un color para cada uno de los polos. Todo el circuito se encuentra representado en la Figura 9.5 para tener así una mayor claridad sobre las conexiones que se realizaron.

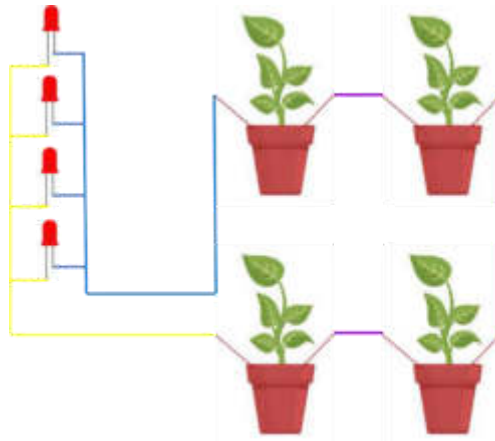


Figura 9.5 Imagen representativa del prototipo demostrativo.

Como se muestra en la Figura 9.6 el circuito únicamente se encontraba conectado por el polo negativo por cual los LED's estaban apagados, pero al conectar el polo positivo como en la Figura 9.7 el voltaje producido por el circuito eléctrico de las plantas logró prender los cuatro LED's demostrado así que las plantas se liberan electrones y protones que pueden ser captados con ayuda de materiales

conductores obteniendo así la generación de energía eléctrica que puede ser aprovechada de distintas maneras.



Figura 9.6 Prototipo demostrativo conectado únicamente por el polo negativo.



Figura 9.7 Prototipo demostrativo conectado al circuito en serie de 14 ejemplares.

Una vez comprobados los objetivos y metas planteados durante el inicio de la investigación, se procedió a analizar el desgaste que hubo en los distintos materiales empleados durante la fase de experimentación notando en primera instancia que hubo un desgaste en los tornillos empleados para realizar los embobinados que formar los electrodos de los prototipos; como se observa en la Figura 9.8 estos empezaron a oxidarse por el constante contacto con el agua usada para alimentar a los organismos.

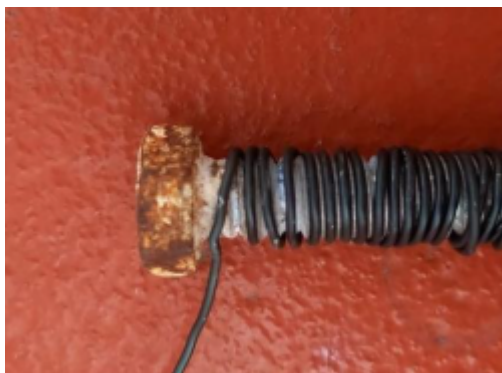


Figura 9.8 Presencia de Oxidación en los tornillos usados como electrodos de trabajo.

Los tornillos que presentaban estas características tuvieron que ser reemplazados para poder realizar el prototipo final, ya que los niveles de voltaje que se obtenían disminuían en comparación con lecturas tomadas con anterioridad o con prototipos que poseían electrodos en buenas condiciones; por lo cual podemos deducir que los tornillos empleados en los prototipos únicamente tendrán una vida útil de 9 meses por lo que posterior a este tiempo tendrán que ser reemplazados.

Así mismo; se debe considerar que una vez que las plantas comienzan a tener un desarrollo más avanzado deberán ser trasplantadas a una nueva celda o maceta que tenga mayores dimensiones y así evitar que las raíces de estas invadan los electrodos y estas no se desarrollen de manera correcta estancando los niveles de voltaje obtenidos, pues como se observa a medida que los organismos vegetales crecen presentan un mayor valor de voltaje.



CONCLUSIONES



10. CONCLUSIONES

Barack Obama expresidente de los Estados Unidos de Norte América en un discurso del año 2015 menciona que, para transformar verdaderamente nuestra economía, proteger la seguridad y salvar al planeta de los estragos del cambio climático, se necesita en última instancia hacer de la energía limpia y renovable el tipo rentable de energía. En la actualidad el planeta se encuentra enfrentando una severa crisis económica-ambiental, los países más desarrollados buscan tener el control sobre las energías más comunes pues son estas las más demandas a nivel general además de poseer bajos costos de producción o extracción, sin embargo, no ponen atención a los altos niveles de contaminación que estas producen.

Durante la realización de esta investigación se logró conocer las diferentes fuentes de energía que existen a nivel mundial, así como el porcentaje de personas que tienen acceso a estas tecnologías llegando a la conclusión que son menos utilizadas las energías renovables debido a los altos costos que se tienen durante su implementación inicial puesto que en la mayoría de los casos se requiere de la utilización de tecnologías especializadas de difícil adquisición además de la poca información que existe sobre sus beneficios recalando únicamente que estas son ilimitadas dejando de lado los niveles de energía que son capaces de producir o las contribuciones que estas pueden traer al medio ambiente.

Considerando la situación anterior los antecedentes de la generación y aplicación de la energía eléctrica generada a través de las plantas es limitada, sin embargo, esto no limitó el cumplimiento del objetivo propuesto al inicio de la investigación puesto que tomando como base los proyectos anteriores se logró generar un sistema capaz de captar los electrones y protones que son liberados en el sustrato de estas para así generar energía eléctrica; a pesar de que los niveles son bajos en comparación con otros tipos de energía representa una nueva oportunidad ya que esta permite no solo generar energía eléctrica consumiendo un recurso natural por el contrario para lograr que esta aumente la producción de energía será necesario que se realice un incremento en las especies vegetales utilizadas en el circuito contribuyendo así a la preservación de un factor primordial para el desarrollo de la vida del ser humano como lo es la flora de la región.

Durante la etapa de consulta bibliográfica se observó que en la literatura son pocos los ejemplares que presenten de manera específica todas las energías renovables que se utilizan y el proceso para llevar a cabo una fácil implementación puesto que en la mayoría de los casos los textos se enfocan primordialmente en las energías no renovables, mientras que los avances en el uso e implementación de las tecnologías renovables son presentados únicamente en pequeños artículos de revistas

científicas o blogs del cuidado del medio ambiente dificultando que más personas conozcan e intentar llevar a cabo la implementación de estas.

Por lo anterior, se llegó a la conclusión que debe existir una mayor difusión en cuanto a los proyectos e investigaciones que se realizan en el ámbito de las energías amigables con el medio con la finalidad de lograr concientizar y que estos sean fáciles de replicar por cualquier persona; beneficiando de esta manera a la población que tiene poco acceso a la energía eléctrica.

Como aportaciones a futuras investigaciones se puede concluir que debe haber una mayor experimentación en cuanto a las propiedades del sustrato en cual se encuentran los organismos vegetales, puesto que existen aditamentos que se pueden agregar a este para potencializar el desarrollo de las plantas influenciando en el desarrollo de estas y por consecuente en los niveles de energía que se pueden captar.

Así como la prueba con nuevos materiales que sustituyan los electrodos usados en los prototipos ya que se observó que al estar en constante contacto con el sustrato y el agua estos comienzan a oxidarse por lo que tienen que ser sustituidos para evitar que los niveles de energía puedan verse afectados proponiendo el uso de recubrimientos que permitan extender la vida útil de estos. Además de incluir un sistema electrónico más avanzado que permita almacenar la energía proveniente de un sistema de plantas con un mayor número organismos para que de esta manera se posible implementarlo como principal fuente de energía de diversos aparatos electrónicos.

A nivel personal la realización de esta investigación permitió a poner en práctica los conocimientos y habilidades adquiridas durante la carrera como la investigación, el análisis de datos, la experimentación e implementación de circuitos electrónicos con la finalidad de desarrollar diferentes prototipos que fueron la base para poder cumplir con el objetivo planteado al inicio del proyecto.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, G. (2023) Energía biofotovoltaica: Las plantas como fuente alternativa de Energía Renovable en Portoviejo, provincia de Mani. *Revista Sinapsis*. Vol 11.
- Askeland, D. (1998) *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México. International Thomson Editores
- Barber, J. (2009). Photosynthetic energy conversion: natural and artificial. *Chemical Society Reviews*. Vol. 38 P.p 185-196.
- Bioo - Arkyne Technologies (2024) Proyecto Bioo. <https://es.biootech.com/>
- Cevallos A. (1996). Hablemos de Electricidad: Teoría y problemas. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9270/1/HABLEMOSDEELECTRICIDAD.PDF>
- Charles, A. y Matthew, S. (2013) *Fundamentos de circuitos eléctricos*. México. Mc Graw Hill Education.
- Chevez, P (2018) *Energías renovables y eficiencia energética: análisis de medidas orientadas al sector residencial*: Ingeniería Ambiental. Editorial Nobuko.
- Coello, E. (2012). *Multímetro, Equipo de Comprobación*. Córdoba. Ediciones América. <https://edamerica.weebly.com/uploads/5/0/5/9/5059738/multimetro.pdf>
- Colino, A. (2004). *Historia, energía e hidrógeno*. [Artículo en línea] <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4548648.pdf>
- Comisión Federal de Electricidad. (2022). *México, potencia en geotermia*. <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=2502#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20geot%C3%A9rmica%20es%20una,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero>.
- Coordinación General de Minería. (2014). *Perfil del mercado del carbón*. Dirección General de Desarrollo Minero. México. https://economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/minero/pm_carbon_2014.pdf
- Juste I. (2024). Plantas y jardinería. *Ecología verde*. <https://www.ecologiaverde.com/plantas-y-jardineria/>.
- Fleming G. Y Van Grondelle R. (1994) The Primary Steps of Photosynthesis. *Physics today*. Vol. 47. P.p 48-55.
- González, G. (2021). *Cómo vamos en el uso de energías limpias en México*. México. Tecnológico de Monterrey. <https://conecta.tec.mx/es/noticias/toluca/archivo/como-vamos-en-el-uso-de-energias-limpias-en-mexico>

- Guardiola, J.L. y García, L. (1990). *Fisiología Vegetal I: nutrición y Transporte*. Madrid. Editorial Síntesis.
- Hernández, J.L (2020, 11 mayo) *El multímetro, su historia, usos y partes*. [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=nB6CGxmiP20>
- Herrera, J. (2020). *Ingeniería de la perforación de pozos de petróleo y gas*. Madrid. Editorial Politécnica.
- Jarabo, F. (1988). *El libro de las Energías Renovables*. Costa Rica. Editorial Era Solar
- Jarauta, L. y Morata, M. (2019). *Termodinámica y energía: energías renovables*. Madrid. Universidad Oberta de Catalunya. <https://bdigital.uvhm.edu.mx/wp-content/uploads/2020/05/Termodinamica-y-Energia.pdf>
- Khoa N. y Barry D. (2014) Growing Green Electricity: Progress and Strategies for Use of Photosystem I for Sustainable Photovoltaic Energy Conversion. *BBA – Bioenergetics*. Vol 1837 P.p. 1553-1566 <https://doi.org/10.1016/j.bbabbio.2013.12.013>.
- Latorre, L. (1996). *Tecnología del gas natural*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4902600>
- Lecaro, J.L (2021). Energía eléctrica fotosintética: una alternativa económica y ecológica para los sectores rurales y urbanos del Cantón, Provincia de El Oro. *Revista Polo del Conocimiento*. VOL.6 NO.12 670-685. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8219318>
- Liu, S., Song, H., Li, X. y Yang, F. (2013) Power Generation Enhancement by Utilizing Plant Photosynthate in Microbial Fuel Cell Coupled Constructed Wetland System. *International Journal of Photoenergy*. Vol. 2013. P.P 10
- Melvin C. (1976) Photosynthesis as a resource for energy and materials. *Photochemistry and photobiology*. Vol. 23. P.p 425-444
- Moore, F. y Brudvig, W. (2011) Energy Conversion in Photosynthesis: A Paradigm for Solar Fuel Production. *The Annual Review of Condensed Matter Physics*. Vol. 2 P.p. 303-330.
- Narendran S. y Ramaraja P. (2015) Photosynthetic Energy Conversion: Recent Advances and Future Perspective. *The Electrochemical Society Interface* Vol. 24 P.p.67.
- Nishio K. y Hashimoto K. (2010). Light/electricity conversión by a self-organized photosynthetic biofilm in a single-chamber reactor. *Applied Microbiology and Biotechnology*. Vol. 86. P.p. 957-964.
- Ocampo, N. (2014). *Fotosíntesis*. México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

- Organización de las Naciones Unidas. (2017). *La agenda de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Pavithra S.S, Poovarasi S. y Karthick R. (2018) Process of generating electricity from home garden plants. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Vol. 05. P.p. 3380-3383.
- Perales, T. (2012). *El universo de las energías renovables: Nuevas Energías*. Barcelona. Marcombo Ediciones.
- Pérez E. (2013), Análisis de Fertilidad de los Suelos en el Laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede Occidente, Universidad de Costa Rica. *Revista Intersedes Vol. XIV, N°29*. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-24582013000300001
- Plant-E (2024) Electricity generated with plants for lighting an sensors. <https://www.plant-e.com/en/>.
- Prieto, J. (2020). *Manual básico de uso del multimetro*. BuenosAires. Universidad de Buenos Aires- Departamento de Física. https://materias.df.uba.ar/eyoba2020c1/files/2020/05/Multimetro_digital_EyO_1c2020.pdf
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua española*. (23ª ed.).
- Revelo, D. M, Hurtado, N.H, & Ruiz, J. (2013). Celdas de combustible microbianas (ccms): un reto para la remoción de materia orgánica y la generación de energía eléctrica. *Información tecnológica*, Vol. 24(6), 17-28. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000600004>
- Rimachi, C. (2019). Estudio de la energía generada por las plantas mediante el proceso de la fotosíntesis, como alternativa sostenible. Lima. Universidad Peruana. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2457/Carmen_Trabajo_Bachillerato_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y.
- Ruiz, J.M. (2007). *MANUAL DE PROGRAMACION ARDUINO*. California. Zona Maker. <https://arduinoobot.pbworks.com/f/Manual+Programacion+Arduino.pdf>
- Schallenberg, J. y Hernández, C. (2008). *Energías Renovables y Eficiencia Energética*. Madrid. Instituto Tecnológico de Canarias.
- Seyboth, K. y Matschoss P. (2012). *Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*. California. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

- Shlosberg Y, Schuster G and Adir N (2022) Harnessing photosynthesis to produce electricity using cyanobacteria, green algae, seaweeds and plants. *Frontiers in Plant Science*. Vol 13 <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.955843>.
- Soto, L. (2020). *Diseño de un prototipo experimental para fortalecer el concepto de fotosíntesis mediante la obtención de energía a través de las plantas orientado a estudiantes de grado séptimo de la I.E.D Juan Lozano y Lozano, jornada nocturna* [Tesis de Doctorado, Universidad de Bogota] <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/10734>
- Steven, D. y Ledesma, Y.A (2019). Desarrollo de un prototipo de sistema para la generación de energía eléctrica a partir del proceso de fotosíntesis de las plantas. [Tesis de licenciatura, Universidad de Cundinamarca]. Facultad de Ingeniería de Colombia.
- Velasco, A. (2006). Mitología y simbolismo de las flores, *Arqueología Mexicana* núm. 78, pp. 28-35. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2056605>
- Viqueira, J. (2012) *Energía e impacto ambiental*. México. Universidad Nacional Autónoma de México- Facultad de Ingeniería.
- Vital, C. (2021). Introducción de Arduino. *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatorio No.4. Vol.9*, No. 7 p. 4-8
- World Meteorological Organization. (2023). *Los últimos ocho años han sido los más cálidos jamás registrados a nivel mundial*. <https://wmo.int/es/media/news/los-ultimos-ocho-anos-han-sido-los-mas-calidos-jamas-registrados-nivel-mundial>
- Zamora, S. E. (2017). Comparación de la energía eléctrica generada mediante la fotosíntesis de las especies Ipomea purpurea y Palma areca, San Martín de Porres, 2017. [Tesis de Licenciatura Universidad Cesar Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/24788n>
- Zapien, R. J. (2019). Generación Eléctrica a Partir de la Fotosíntesis Natural; ¿Una realidad? Revista de las Energías Renovables. VOL. 3 NO.1 1-6 https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Energias_Renovables/vol3num10/Revista_de_Energ%C3%ADas_Renovables_V3_N10_1.pdf



GLOSARIO



12. GLOSARIO

- ❖ Amperio: m. Fís. Unidad de intensidad de corriente eléctrica del sistema internacional, equivalente a la intensidad de una corriente constante que, al circular por dos conductores paralelos y rectilíneos, colocados a la distancia de un metro uno de otro en el vacío, produciría entre dichos conductores una fuerza de dos diezmillonésimas de newton por cada metro de longitud. (Símb. A).
- ❖ Ánodo: m. Fís. Electrodo positivo.
- ❖ Cátodo: m. Fís. Electrodo negativo.
- ❖ Conmutador: m. Electr. Dispositivo de los aparatos eléctricos que sirve para que una corriente cambie de conductor
- ❖ Corriente Alterna: f. Electr. corriente eléctrica que invierte periódicamente el sentido de su movimiento.
- ❖ Corriente Continua: f. Electr. corriente eléctrica que fluye siempre en el mismo sentido.
- ❖ Corrosión: La corrosión es el desgaste o la alteración de un metal o aleación, ya sea por ataque químico directo o por reacción electroquímica
- ❖ Electrodo: m. Fís. Extremo de un conductor en contacto con un medio, al que transmite o del que recibe una corriente eléctrica.
- ❖ Embobinado: tr. Arrollar o devanar hilos, alambre, etc., en forma de bobina, generalmente sobre un carrete.
- ❖ Ohmio: m. Fís. Resistencia eléctrica que existe entre dos puntos de un conductor cuando una diferencia de potencial constante de 1 voltio, aplicada entre estos dos puntos, produce, en este conductor, una corriente de 1 amperio. (Símb. Ω).
- ❖ Oxidación: proceso por el cual un átomo, ion o molécula aumenta su estado de oxidación. Este cambio está asociado con lo que se conoce como el proceso de pérdida de electrones: los electrones se transfieren de un elemento a otro.
- ❖ Pin: m. Electr. Cada una de las patillas metálicas de un conector multipolar.
- ❖ Reacción química: proceso termodinámico en el cual dos o más especies químicas o sustancias, se transforman, cambiando su estructura molecular y sus enlaces, en otras sustancias llamadas productos.
- ❖ Reducción: reacción química que consiste en la obtención de electrones por uno de los átomos involucrados en la reacción. El término se refiere al elemento que acepta electrones, ya que el estado de oxidación del elemento que gana electrones disminuye.
- ❖ Sustrato: m. Biol. Lugar que sirve de asiento a una planta o un animal fijo.

- ❖ Voltio: m. Fís. Unidad de potencial eléctrico y fuerza electromotriz equivalente a la diferencia de potencial eléctrico que hay entre dos puntos de un hilo conductor, que transporta una corriente constante de 1 amperio, cuando la potencia disipada entre estos puntos es de 1 vatio. (Símb. V).



ANEXOS



13. ANEXOS

ANEXO 1 TABLA DE DATOS RECOLECTADOS DURANTE LA PRIMERA PROGRAMACION ARDUINO.

HORA	VOLTAJE	HORA	VOLTAJE	HORA	VOLTAJE
04:44:01 p. m.	227	04:51:05 p. m.	229	04:58:10 p. m.	227
04:44:02 p. m.	226	04:51:06 p. m.	229	04:58:11 p. m.	224
04:44:03 p. m.	222	04:51:07 p. m.	225	04:58:12 p. m.	222
04:44:04 p. m.	229	04:51:08 p. m.	221	04:58:13 p. m.	226
04:44:05 p. m.	221	04:51:09 p. m.	223	04:58:14 p. m.	221
04:44:06 p. m.	225	04:51:10 p. m.	226	04:58:15 p. m.	223
04:44:07 p. m.	222	04:51:11 p. m.	224	04:58:16 p. m.	223
04:44:08 p. m.	223	04:51:12 p. m.	224	04:58:17 p. m.	225
04:44:09 p. m.	229	04:51:13 p. m.	227	04:58:18 p. m.	226
04:44:10 p. m.	226	04:51:14 p. m.	224	04:58:19 p. m.	220
04:44:11 p. m.	229	04:51:15 p. m.	226	04:58:20 p. m.	221
04:44:12 p. m.	224	04:51:16 p. m.	228	04:58:21 p. m.	222
04:44:13 p. m.	220	04:51:17 p. m.	220	04:58:22 p. m.	222
04:44:14 p. m.	221	04:51:18 p. m.	225	04:58:23 p. m.	221
04:44:15 p. m.	224	04:51:19 p. m.	223	04:58:24 p. m.	229
04:44:16 p. m.	221	04:51:20 p. m.	225	04:58:25 p. m.	226
04:44:17 p. m.	222	04:51:21 p. m.	229	04:58:26 p. m.	227
04:44:18 p. m.	224	04:51:22 p. m.	222	04:58:27 p. m.	220
04:44:19 p. m.	225	04:51:23 p. m.	229	04:58:28 p. m.	222
04:44:20 p. m.	222	04:51:24 p. m.	227	04:58:29 p. m.	226
04:44:21 p. m.	228	04:51:25 p. m.	220	04:58:30 p. m.	229
04:44:22 p. m.	226	04:51:26 p. m.	229	04:58:31 p. m.	226
04:44:23 p. m.	221	04:51:27 p. m.	221	04:58:32 p. m.	225
04:44:24 p. m.	222	04:51:28 p. m.	223	04:58:33 p. m.	221
04:44:25 p. m.	225	04:51:29 p. m.	226	04:58:34 p. m.	220
04:44:26 p. m.	227	04:51:30 p. m.	224	04:58:35 p. m.	226
04:44:27 p. m.	229	04:51:31 p. m.	225	04:58:36 p. m.	228
04:44:28 p. m.	223	04:51:32 p. m.	221	04:58:37 p. m.	220
04:44:29 p. m.	228	04:51:33 p. m.	228	04:58:38 p. m.	221
04:44:30 p. m.	223	04:51:34 p. m.	222	04:58:39 p. m.	229
04:44:31 p. m.	229	04:51:35 p. m.	227	04:58:40 p. m.	227
04:44:32 p. m.	221	04:51:36 p. m.	229	04:58:41 p. m.	223
04:44:33 p. m.	220	04:51:37 p. m.	226	04:58:42 p. m.	226
04:44:34 p. m.	223	04:51:38 p. m.	222	04:58:43 p. m.	229
04:44:35 p. m.	220	04:51:39 p. m.	220	04:58:44 p. m.	220
04:44:36 p. m.	226	04:51:40 p. m.	228	04:58:45 p. m.	223
04:44:37 p. m.	221	04:51:41 p. m.	229	04:58:46 p. m.	228
04:44:38 p. m.	229	04:51:42 p. m.	229	04:58:47 p. m.	223

04:44:39 p. m.	227	04:51:43 p. m.	228	04:58:48 p. m.	226
04:44:40 p. m.	220	04:51:44 p. m.	228	04:58:49 p. m.	220
04:44:41 p. m.	224	04:51:45 p. m.	228	04:58:50 p. m.	229
04:44:42 p. m.	220	04:51:46 p. m.	225	04:58:51 p. m.	228
04:44:43 p. m.	222	04:51:47 p. m.	227	04:58:52 p. m.	223
04:44:44 p. m.	228	04:51:48 p. m.	226	04:58:53 p. m.	224
04:44:45 p. m.	221	04:51:49 p. m.	226	04:58:54 p. m.	229
04:44:46 p. m.	228	04:51:50 p. m.	221	04:58:55 p. m.	228
04:44:47 p. m.	225	04:51:51 p. m.	224	04:58:56 p. m.	229
04:44:48 p. m.	227	04:51:52 p. m.	229	04:58:57 p. m.	223
04:44:49 p. m.	229	04:51:53 p. m.	225	04:58:58 p. m.	229
04:44:50 p. m.	225	04:51:54 p. m.	226	04:58:59 p. m.	223
04:44:51 p. m.	223	04:51:55 p. m.	220	04:59:00 p. m.	220
04:44:52 p. m.	222	04:51:56 p. m.	226	04:59:01 p. m.	228
04:44:53 p. m.	226	04:51:57 p. m.	223	04:59:02 p. m.	220
04:44:54 p. m.	223	04:51:58 p. m.	227	04:59:03 p. m.	223
04:44:55 p. m.	225	04:51:59 p. m.	229	04:59:04 p. m.	220
04:44:56 p. m.	224	04:52:00 p. m.	225	04:59:05 p. m.	222
04:44:57 p. m.	220	04:52:01 p. m.	229	04:59:06 p. m.	223
04:44:58 p. m.	224	04:52:02 p. m.	220	04:59:07 p. m.	226
04:44:59 p. m.	224	04:52:03 p. m.	223	04:59:08 p. m.	224
04:45:00 p. m.	222	04:52:04 p. m.	222	04:59:09 p. m.	222
04:45:01 p. m.	226	04:52:05 p. m.	225	04:59:10 p. m.	222
04:45:02 p. m.	227	04:52:06 p. m.	226	04:59:11 p. m.	220
04:45:03 p. m.	229	04:52:07 p. m.	221	04:59:12 p. m.	229
04:45:04 p. m.	225	04:52:08 p. m.	223	04:59:13 p. m.	228
04:45:05 p. m.	228	04:52:09 p. m.	225	04:59:14 p. m.	228
04:45:06 p. m.	221	04:52:10 p. m.	222	04:59:15 p. m.	223
04:45:07 p. m.	222	04:52:11 p. m.	228	04:59:16 p. m.	224
04:45:08 p. m.	223	04:52:12 p. m.	223	04:59:17 p. m.	227
04:45:09 p. m.	221	04:52:13 p. m.	225	04:59:18 p. m.	224
04:45:10 p. m.	222	04:52:14 p. m.	229	04:59:19 p. m.	227
04:45:11 p. m.	223	04:52:15 p. m.	225	04:59:20 p. m.	220
04:45:12 p. m.	227	04:52:16 p. m.	224	04:59:21 p. m.	222
04:45:13 p. m.	222	04:52:17 p. m.	220	04:59:22 p. m.	223
04:45:14 p. m.	227	04:52:18 p. m.	227	04:59:23 p. m.	221
04:45:15 p. m.	220	04:52:19 p. m.	221	04:59:24 p. m.	223
04:45:16 p. m.	227	04:52:20 p. m.	227	04:59:25 p. m.	222
04:45:17 p. m.	227	04:52:21 p. m.	222	04:59:26 p. m.	226
04:45:18 p. m.	224	04:52:22 p. m.	223	04:59:27 p. m.	228
04:45:19 p. m.	221	04:52:23 p. m.	227	04:59:28 p. m.	225
04:45:20 p. m.	225	04:52:24 p. m.	228	04:59:29 p. m.	226
04:45:21 p. m.	225	04:52:25 p. m.	227	04:59:30 p. m.	222

04:45:22 p. m.	229	04:52:26 p. m.	226	04:59:31 p. m.	228
04:45:23 p. m.	222	04:52:27 p. m.	227	04:59:32 p. m.	222
04:45:24 p. m.	222	04:52:28 p. m.	221	04:59:33 p. m.	225
04:45:25 p. m.	226	04:52:29 p. m.	226	04:59:34 p. m.	225
04:45:26 p. m.	222	04:52:30 p. m.	221	04:59:35 p. m.	221
04:45:27 p. m.	222	04:52:31 p. m.	220	04:59:36 p. m.	221
04:45:28 p. m.	227	04:52:32 p. m.	220	04:59:37 p. m.	226
04:45:29 p. m.	226	04:52:33 p. m.	226	04:59:38 p. m.	220
04:45:30 p. m.	222	04:52:34 p. m.	221	04:59:39 p. m.	223
04:45:31 p. m.	224	04:52:35 p. m.	227	04:59:40 p. m.	222
04:45:32 p. m.	221	04:52:36 p. m.	224	04:59:41 p. m.	226
04:45:33 p. m.	225	04:52:37 p. m.	224	04:59:42 p. m.	224
04:45:34 p. m.	223	04:52:38 p. m.	223	04:59:43 p. m.	226
04:45:35 p. m.	221	04:52:39 p. m.	222	04:59:44 p. m.	221
04:45:36 p. m.	227	04:52:40 p. m.	228	04:59:45 p. m.	228
04:45:37 p. m.	227	04:52:41 p. m.	225	04:59:46 p. m.	220
04:45:38 p. m.	224	04:52:42 p. m.	226	04:59:47 p. m.	225
04:45:39 p. m.	226	04:52:43 p. m.	225	04:59:48 p. m.	225
04:45:40 p. m.	226	04:52:44 p. m.	223	04:59:49 p. m.	227
04:45:41 p. m.	220	04:52:45 p. m.	225	04:59:50 p. m.	224
04:45:42 p. m.	223	04:52:46 p. m.	221	04:59:51 p. m.	225
04:45:43 p. m.	228	04:52:47 p. m.	228	04:59:52 p. m.	228
04:45:44 p. m.	223	04:52:48 p. m.	226	04:59:53 p. m.	228
04:45:45 p. m.	222	04:52:49 p. m.	229	04:59:54 p. m.	220
04:45:46 p. m.	226	04:52:50 p. m.	224	04:59:55 p. m.	225
04:45:47 p. m.	226	04:52:51 p. m.	224	04:59:56 p. m.	228
04:45:48 p. m.	226	04:52:52 p. m.	223	04:59:57 p. m.	225
04:45:49 p. m.	226	04:52:53 p. m.	227	04:59:58 p. m.	221
04:45:50 p. m.	225	04:52:54 p. m.	225	04:59:59 p. m.	222
04:45:51 p. m.	228	04:52:55 p. m.	229	05:00:00 p. m.	220
04:45:52 p. m.	226	04:52:56 p. m.	221	05:00:01 p. m.	226
04:45:53 p. m.	221	04:52:57 p. m.	224	05:00:02 p. m.	222
04:45:54 p. m.	220	04:52:58 p. m.	229	05:00:03 p. m.	220
04:45:55 p. m.	229	04:52:59 p. m.	224	05:00:04 p. m.	220
04:45:56 p. m.	226	04:53:00 p. m.	222	05:00:05 p. m.	222
04:45:57 p. m.	224	04:53:01 p. m.	227	05:00:06 p. m.	224
04:45:58 p. m.	225	04:53:02 p. m.	222	05:00:07 p. m.	227
04:45:59 p. m.	226	04:53:03 p. m.	225	05:00:08 p. m.	225
04:46:00 p. m.	228	04:53:04 p. m.	221	05:00:09 p. m.	223
04:46:01 p. m.	226	04:53:05 p. m.	220	05:00:10 p. m.	223
04:46:02 p. m.	224	04:53:06 p. m.	221	05:00:11 p. m.	220
04:46:03 p. m.	227	04:53:07 p. m.	225	05:00:12 p. m.	229
04:46:04 p. m.	225	04:53:08 p. m.	224	05:00:13 p. m.	226

04:46:05 p. m.	227	04:53:09 p. m.	223	05:00:14 p. m.	229
04:46:06 p. m.	221	04:53:10 p. m.	221	05:00:15 p. m.	221
04:46:07 p. m.	221	04:53:11 p. m.	229	05:00:16 p. m.	220
04:46:08 p. m.	225	04:53:12 p. m.	221	05:00:17 p. m.	223
04:46:09 p. m.	221	04:53:13 p. m.	222	05:00:18 p. m.	229
04:46:10 p. m.	220	04:53:14 p. m.	224	05:00:19 p. m.	223
04:46:11 p. m.	220	04:53:15 p. m.	221	05:00:20 p. m.	222
04:46:12 p. m.	228	04:53:16 p. m.	224	05:00:21 p. m.	222
04:46:13 p. m.	224	04:53:17 p. m.	221	05:00:22 p. m.	222
04:46:14 p. m.	225	04:53:18 p. m.	229	05:00:23 p. m.	223
04:46:15 p. m.	229	04:53:19 p. m.	223	05:00:24 p. m.	222
04:46:16 p. m.	227	04:53:20 p. m.	226	05:00:25 p. m.	223
04:46:17 p. m.	222	04:53:21 p. m.	228	05:00:26 p. m.	222
04:46:18 p. m.	220	04:53:22 p. m.	223	05:00:27 p. m.	228
04:46:19 p. m.	225	04:53:23 p. m.	228	05:00:28 p. m.	220
04:46:20 p. m.	226	04:53:24 p. m.	226	05:00:29 p. m.	221
04:46:21 p. m.	224	04:53:25 p. m.	222	05:00:30 p. m.	221
04:46:22 p. m.	226	04:53:26 p. m.	225	05:00:31 p. m.	228
04:46:23 p. m.	229	04:53:27 p. m.	223	05:00:32 p. m.	229
04:46:24 p. m.	229	04:53:28 p. m.	228	05:00:33 p. m.	226
04:46:25 p. m.	225	04:53:29 p. m.	223	05:00:34 p. m.	227
04:46:26 p. m.	228	04:53:30 p. m.	224	05:00:35 p. m.	229
04:46:27 p. m.	229	04:53:31 p. m.	227	05:00:36 p. m.	228
04:46:28 p. m.	224	04:53:32 p. m.	222	05:00:37 p. m.	229
04:46:29 p. m.	221	04:53:33 p. m.	221	05:00:38 p. m.	228
04:46:30 p. m.	229	04:53:34 p. m.	225	05:00:39 p. m.	226
04:46:31 p. m.	222	04:53:35 p. m.	222	05:00:40 p. m.	225
04:46:32 p. m.	226	04:53:36 p. m.	225	05:00:41 p. m.	229
04:46:33 p. m.	221	04:53:37 p. m.	221	05:00:42 p. m.	220
04:46:34 p. m.	221	04:53:38 p. m.	221	05:00:43 p. m.	220
04:46:35 p. m.	224	04:53:39 p. m.	226	05:00:44 p. m.	223
04:46:36 p. m.	223	04:53:40 p. m.	220	05:00:45 p. m.	229
04:46:37 p. m.	229	04:53:41 p. m.	227	05:00:46 p. m.	224
04:46:38 p. m.	223	04:53:42 p. m.	226	05:00:47 p. m.	222
04:46:39 p. m.	223	04:53:43 p. m.	222	05:00:48 p. m.	223
04:46:40 p. m.	224	04:53:44 p. m.	227	05:00:49 p. m.	222
04:46:41 p. m.	220	04:53:45 p. m.	228	05:00:50 p. m.	224
04:46:42 p. m.	228	04:53:46 p. m.	226	05:00:51 p. m.	227
04:46:43 p. m.	222	04:53:47 p. m.	226	05:00:52 p. m.	222
04:46:44 p. m.	221	04:53:48 p. m.	229	05:00:53 p. m.	224
04:46:45 p. m.	222	04:53:49 p. m.	225	05:00:54 p. m.	225
04:46:46 p. m.	224	04:53:50 p. m.	222	05:00:55 p. m.	223
04:46:47 p. m.	223	04:53:51 p. m.	223	05:00:56 p. m.	222

04:46:48 p. m.	229	04:53:52 p. m.	224	05:00:57 p. m.	221
04:46:49 p. m.	220	04:53:53 p. m.	223	05:00:58 p. m.	225
04:46:50 p. m.	229	04:53:54 p. m.	226	05:00:59 p. m.	229
04:46:51 p. m.	220	04:53:55 p. m.	229	05:01:00 p. m.	225
04:46:52 p. m.	226	04:53:56 p. m.	229	05:01:01 p. m.	225
04:46:53 p. m.	225	04:53:57 p. m.	222	05:01:02 p. m.	226
04:46:54 p. m.	227	04:53:58 p. m.	228	05:01:03 p. m.	225
04:46:55 p. m.	223	04:53:59 p. m.	222	05:01:04 p. m.	225
04:46:56 p. m.	228	04:54:00 p. m.	224	05:01:05 p. m.	229
04:46:57 p. m.	226	04:54:01 p. m.	228	05:01:06 p. m.	223
04:46:58 p. m.	225	04:54:02 p. m.	226	05:01:07 p. m.	224
04:46:59 p. m.	227	04:54:03 p. m.	223	05:01:08 p. m.	222
04:47:00 p. m.	226	04:54:04 p. m.	222	05:01:09 p. m.	229
04:47:01 p. m.	228	04:54:05 p. m.	220	05:01:10 p. m.	220
04:47:02 p. m.	220	04:54:06 p. m.	223	05:01:11 p. m.	227
04:47:03 p. m.	228	04:54:07 p. m.	225	05:01:12 p. m.	229
04:47:04 p. m.	225	04:54:08 p. m.	227	05:01:13 p. m.	225
04:47:05 p. m.	224	04:54:09 p. m.	225	05:01:14 p. m.	224
04:47:06 p. m.	220	04:54:10 p. m.	223	05:01:15 p. m.	221
04:47:07 p. m.	222	04:54:11 p. m.	221	05:01:16 p. m.	224
04:47:08 p. m.	228	04:54:12 p. m.	228	05:01:17 p. m.	227
04:47:09 p. m.	227	04:54:13 p. m.	222	05:01:18 p. m.	225
04:47:10 p. m.	224	04:54:14 p. m.	225	05:01:19 p. m.	225
04:47:11 p. m.	228	04:54:15 p. m.	228	05:01:20 p. m.	226
04:47:12 p. m.	225	04:54:16 p. m.	227	05:01:21 p. m.	226
04:47:13 p. m.	229	04:54:17 p. m.	222	05:01:22 p. m.	223
04:47:14 p. m.	220	04:54:18 p. m.	226	05:01:23 p. m.	223
04:47:15 p. m.	227	04:54:19 p. m.	227	05:01:24 p. m.	226
04:47:16 p. m.	224	04:54:20 p. m.	223	05:01:25 p. m.	225
04:47:17 p. m.	226	04:54:21 p. m.	220	05:01:26 p. m.	221
04:47:18 p. m.	226	04:54:22 p. m.	229	05:01:27 p. m.	224
04:47:19 p. m.	226	04:54:23 p. m.	223	05:01:28 p. m.	227
04:47:20 p. m.	229	04:54:24 p. m.	220	05:01:29 p. m.	229
04:47:21 p. m.	227	04:54:25 p. m.	228	05:01:30 p. m.	228
04:47:22 p. m.	225	04:54:26 p. m.	223	05:01:31 p. m.	227
04:47:23 p. m.	228	04:54:27 p. m.	220	05:01:32 p. m.	222
04:47:24 p. m.	229	04:54:28 p. m.	228	05:01:33 p. m.	229
04:47:25 p. m.	226	04:54:29 p. m.	225	05:01:34 p. m.	222
04:47:26 p. m.	220	04:54:30 p. m.	224	05:01:35 p. m.	227
04:47:27 p. m.	227	04:54:31 p. m.	229	05:01:36 p. m.	221
04:47:28 p. m.	227	04:54:32 p. m.	222	05:01:37 p. m.	224
04:47:29 p. m.	222	04:54:33 p. m.	224	05:01:38 p. m.	229
04:47:30 p. m.	223	04:54:34 p. m.	222	05:01:39 p. m.	221

04:47:31 p. m.	224	04:54:35 p. m.	225	05:01:40 p. m.	220
04:47:32 p. m.	221	04:54:36 p. m.	220	05:01:41 p. m.	221
04:47:33 p. m.	220	04:54:37 p. m.	220	05:01:42 p. m.	226
04:47:34 p. m.	224	04:54:38 p. m.	227	05:01:43 p. m.	226
04:47:35 p. m.	225	04:54:39 p. m.	222	05:01:44 p. m.	224
04:47:36 p. m.	227	04:54:40 p. m.	224	05:01:45 p. m.	221
04:47:37 p. m.	222	04:54:41 p. m.	220	05:01:46 p. m.	221
04:47:38 p. m.	222	04:54:42 p. m.	229	05:01:47 p. m.	227
04:47:39 p. m.	223	04:54:43 p. m.	226	05:01:48 p. m.	228
04:47:40 p. m.	228	04:54:44 p. m.	220	05:01:49 p. m.	227
04:47:41 p. m.	220	04:54:45 p. m.	221	05:01:50 p. m.	222
04:47:42 p. m.	223	04:54:46 p. m.	224	05:01:51 p. m.	220
04:47:43 p. m.	225	04:54:47 p. m.	225	05:01:52 p. m.	220
04:47:44 p. m.	224	04:54:48 p. m.	224	05:01:53 p. m.	222
04:47:45 p. m.	229	04:54:49 p. m.	225	05:01:54 p. m.	226
04:47:46 p. m.	228	04:54:50 p. m.	229	05:01:55 p. m.	224
04:47:47 p. m.	226	04:54:51 p. m.	224	05:01:56 p. m.	227
04:47:48 p. m.	228	04:54:52 p. m.	227	05:01:57 p. m.	227
04:47:49 p. m.	228	04:54:53 p. m.	225	05:01:58 p. m.	224
04:47:50 p. m.	225	04:54:54 p. m.	223	05:01:59 p. m.	229
04:47:51 p. m.	227	04:54:55 p. m.	223	05:02:00 p. m.	227
04:47:52 p. m.	221	04:54:56 p. m.	222	05:02:01 p. m.	228
04:47:53 p. m.	225	04:54:57 p. m.	220	05:02:02 p. m.	224
04:47:54 p. m.	227	04:54:58 p. m.	229	05:02:03 p. m.	228
04:47:55 p. m.	226	04:54:59 p. m.	226	05:02:04 p. m.	222
04:47:56 p. m.	222	04:55:00 p. m.	226	05:02:05 p. m.	221
04:47:57 p. m.	226	04:55:01 p. m.	229	05:02:06 p. m.	222
04:47:58 p. m.	227	04:55:02 p. m.	226	05:02:07 p. m.	224
04:47:59 p. m.	221	04:55:03 p. m.	226	05:02:08 p. m.	227
04:48:00 p. m.	226	04:55:04 p. m.	225	05:02:09 p. m.	223
04:48:01 p. m.	224	04:55:05 p. m.	226	05:02:10 p. m.	220
04:48:02 p. m.	223	04:55:06 p. m.	225	05:02:11 p. m.	221
04:48:03 p. m.	228	04:55:07 p. m.	220	05:02:12 p. m.	220
04:48:04 p. m.	228	04:55:08 p. m.	226	05:02:13 p. m.	224
04:48:05 p. m.	225	04:55:09 p. m.	223	05:02:14 p. m.	222
04:48:06 p. m.	228	04:55:10 p. m.	221	05:02:15 p. m.	229
04:48:07 p. m.	222	04:55:11 p. m.	221	05:02:16 p. m.	226
04:48:08 p. m.	221	04:55:12 p. m.	224	05:02:17 p. m.	221
04:48:09 p. m.	222	04:55:13 p. m.	228	05:02:18 p. m.	229
04:48:10 p. m.	222	04:55:14 p. m.	223	05:02:19 p. m.	223
04:48:11 p. m.	225	04:55:15 p. m.	226	05:02:20 p. m.	228
04:48:12 p. m.	220	04:55:16 p. m.	225	05:02:21 p. m.	220
04:48:13 p. m.	229	04:55:17 p. m.	225	05:02:22 p. m.	224

04:48:14 p. m.	227	04:55:18 p. m.	220	05:02:23 p. m.	228
04:48:15 p. m.	229	04:55:19 p. m.	225	05:02:24 p. m.	222
04:48:16 p. m.	220	04:55:20 p. m.	226	05:02:25 p. m.	222
04:48:17 p. m.	228	04:55:21 p. m.	226	05:02:26 p. m.	223
04:48:18 p. m.	227	04:55:22 p. m.	220	05:02:27 p. m.	225
04:48:19 p. m.	225	04:55:23 p. m.	220	05:02:28 p. m.	229
04:48:20 p. m.	225	04:55:24 p. m.	227	05:02:29 p. m.	224
04:48:21 p. m.	226	04:55:25 p. m.	220	05:02:30 p. m.	225
04:48:22 p. m.	225	04:55:26 p. m.	222	05:02:31 p. m.	229
04:48:23 p. m.	227	04:55:27 p. m.	222	05:02:32 p. m.	220
04:48:24 p. m.	221	04:55:28 p. m.	225	05:02:33 p. m.	225
04:48:25 p. m.	229	04:55:29 p. m.	227	05:02:34 p. m.	220
04:48:26 p. m.	222	04:55:30 p. m.	226	05:02:35 p. m.	229
04:48:27 p. m.	222	04:55:31 p. m.	224	05:02:36 p. m.	225
04:48:28 p. m.	229	04:55:32 p. m.	222	05:02:37 p. m.	224
04:48:29 p. m.	221	04:55:33 p. m.	223	05:02:38 p. m.	221
04:48:30 p. m.	223	04:55:34 p. m.	220	05:02:39 p. m.	228
04:48:31 p. m.	229	04:55:35 p. m.	224	05:02:40 p. m.	227
04:48:32 p. m.	221	04:55:36 p. m.	229	05:02:41 p. m.	227
04:48:33 p. m.	224	04:55:37 p. m.	228	05:02:42 p. m.	220
04:48:34 p. m.	228	04:55:38 p. m.	228	05:02:43 p. m.	220
04:48:35 p. m.	225	04:55:39 p. m.	229	05:02:44 p. m.	221
04:48:36 p. m.	229	04:55:40 p. m.	220	05:02:45 p. m.	221
04:48:37 p. m.	220	04:55:41 p. m.	222	05:02:46 p. m.	222
04:48:38 p. m.	220	04:55:42 p. m.	224	05:02:47 p. m.	223
04:48:39 p. m.	224	04:55:43 p. m.	229	05:02:48 p. m.	226
04:48:40 p. m.	222	04:55:44 p. m.	221	05:02:49 p. m.	223
04:48:41 p. m.	227	04:55:45 p. m.	225	05:02:50 p. m.	224
04:48:42 p. m.	227	04:55:46 p. m.	227	05:02:51 p. m.	222
04:48:43 p. m.	226	04:55:47 p. m.	225	05:02:52 p. m.	220
04:48:44 p. m.	222	04:55:48 p. m.	227	05:02:53 p. m.	224
04:48:45 p. m.	227	04:55:49 p. m.	223	05:02:54 p. m.	228
04:48:46 p. m.	227	04:55:50 p. m.	229	05:02:55 p. m.	225
04:48:47 p. m.	229	04:55:51 p. m.	221	05:02:56 p. m.	228
04:48:48 p. m.	227	04:55:52 p. m.	224	05:02:57 p. m.	224
04:48:49 p. m.	221	04:55:53 p. m.	226	05:02:58 p. m.	227
04:48:50 p. m.	228	04:55:54 p. m.	229	05:02:59 p. m.	220
04:48:51 p. m.	220	04:55:55 p. m.	225	05:03:00 p. m.	228
04:48:52 p. m.	224	04:55:56 p. m.	227	05:03:01 p. m.	222
04:48:53 p. m.	222	04:55:57 p. m.	221	05:03:02 p. m.	221
04:48:54 p. m.	229	04:55:58 p. m.	229	05:03:03 p. m.	225
04:48:55 p. m.	226	04:55:59 p. m.	222	05:03:04 p. m.	229
04:48:56 p. m.	225	04:56:00 p. m.	220	05:03:05 p. m.	223

04:48:57 p. m.	229	04:56:01 p. m.	224	05:03:06 p. m.	224
04:48:58 p. m.	225	04:56:02 p. m.	225	05:03:07 p. m.	228
04:48:59 p. m.	227	04:56:03 p. m.	220	05:03:08 p. m.	220
04:49:00 p. m.	224	04:56:04 p. m.	223	05:03:09 p. m.	220
04:49:01 p. m.	220	04:56:05 p. m.	227	05:03:10 p. m.	225
04:49:02 p. m.	221	04:56:06 p. m.	229	05:03:11 p. m.	228
04:49:03 p. m.	224	04:56:07 p. m.	223	05:03:12 p. m.	229
04:49:04 p. m.	226	04:56:08 p. m.	220	05:03:13 p. m.	226
04:49:05 p. m.	229	04:56:09 p. m.	221	05:03:14 p. m.	229
04:49:06 p. m.	225	04:56:10 p. m.	226	05:03:15 p. m.	222
04:49:07 p. m.	222	04:56:11 p. m.	226	05:03:16 p. m.	227
04:49:08 p. m.	221	04:56:12 p. m.	223	05:03:17 p. m.	228
04:49:09 p. m.	229	04:56:13 p. m.	224	05:03:18 p. m.	222
04:49:10 p. m.	229	04:56:14 p. m.	227	05:03:19 p. m.	224
04:49:11 p. m.	228	04:56:15 p. m.	220	05:03:20 p. m.	221
04:49:12 p. m.	227	04:56:16 p. m.	226	05:03:21 p. m.	229
04:49:13 p. m.	229	04:56:17 p. m.	220	05:03:22 p. m.	223
04:49:14 p. m.	225	04:56:18 p. m.	223	05:03:23 p. m.	220
04:49:15 p. m.	220	04:56:19 p. m.	228	05:03:24 p. m.	229
04:49:16 p. m.	229	04:56:20 p. m.	220	05:03:25 p. m.	222
04:49:17 p. m.	220	04:56:21 p. m.	224	05:03:26 p. m.	228
04:49:18 p. m.	228	04:56:22 p. m.	224	05:03:27 p. m.	222
04:49:19 p. m.	224	04:56:23 p. m.	220	05:03:28 p. m.	228
04:49:20 p. m.	220	04:56:24 p. m.	222	05:03:29 p. m.	228
04:49:21 p. m.	220	04:56:25 p. m.	225	05:03:30 p. m.	228
04:49:22 p. m.	223	04:56:26 p. m.	220	05:03:31 p. m.	223
04:49:23 p. m.	225	04:56:27 p. m.	226	05:03:32 p. m.	224
04:49:24 p. m.	228	04:56:28 p. m.	220	05:03:33 p. m.	227
04:49:25 p. m.	224	04:56:29 p. m.	225	05:03:34 p. m.	224
04:49:26 p. m.	225	04:56:30 p. m.	225	05:03:35 p. m.	227
04:49:27 p. m.	226	04:56:31 p. m.	229	05:03:36 p. m.	225
04:49:28 p. m.	229	04:56:32 p. m.	222	05:03:37 p. m.	224
04:49:29 p. m.	223	04:56:33 p. m.	223	05:03:38 p. m.	228
04:49:30 p. m.	222	04:56:34 p. m.	221	05:03:39 p. m.	229
04:49:31 p. m.	222	04:56:35 p. m.	221	05:03:40 p. m.	224
04:49:32 p. m.	221	04:56:36 p. m.	225	05:03:41 p. m.	220
04:49:33 p. m.	226	04:56:37 p. m.	220	05:03:42 p. m.	225
04:49:34 p. m.	225	04:56:38 p. m.	225	05:03:43 p. m.	228
04:49:35 p. m.	224	04:56:39 p. m.	227	05:03:44 p. m.	229
04:49:36 p. m.	227	04:56:40 p. m.	225	05:03:45 p. m.	227
04:49:37 p. m.	223	04:56:41 p. m.	229	05:03:46 p. m.	226
04:49:38 p. m.	223	04:56:42 p. m.	224	05:03:47 p. m.	226
04:49:39 p. m.	229	04:56:43 p. m.	221	05:03:48 p. m.	221

04:49:40 p. m.	221	04:56:44 p. m.	227	05:03:49 p. m.	220
04:49:41 p. m.	227	04:56:45 p. m.	229	05:03:50 p. m.	223
04:49:42 p. m.	220	04:56:46 p. m.	224	05:03:51 p. m.	224
04:49:43 p. m.	227	04:56:47 p. m.	220	05:03:52 p. m.	221
04:49:44 p. m.	227	04:56:48 p. m.	220	05:03:53 p. m.	228
04:49:45 p. m.	221	04:56:49 p. m.	228	05:03:54 p. m.	226
04:49:46 p. m.	220	04:56:50 p. m.	222	05:03:55 p. m.	222
04:49:47 p. m.	223	04:56:51 p. m.	220	05:03:56 p. m.	220
04:49:48 p. m.	228	04:56:52 p. m.	222	05:03:57 p. m.	220
04:49:49 p. m.	229	04:56:53 p. m.	223	05:03:58 p. m.	229
04:49:50 p. m.	225	04:56:54 p. m.	222	05:03:59 p. m.	229
04:49:51 p. m.	222	04:56:55 p. m.	223	05:04:00 p. m.	227
04:49:52 p. m.	229	04:56:56 p. m.	229	05:04:01 p. m.	229
04:49:53 p. m.	225	04:56:57 p. m.	228	05:04:02 p. m.	223
04:49:54 p. m.	228	04:56:58 p. m.	222	05:04:03 p. m.	222
04:49:55 p. m.	222	04:56:59 p. m.	226	05:04:04 p. m.	225
04:49:56 p. m.	222	04:57:00 p. m.	224	05:04:05 p. m.	228
04:49:57 p. m.	223	04:57:01 p. m.	225	05:04:06 p. m.	223
04:49:58 p. m.	221	04:57:02 p. m.	222	05:04:07 p. m.	220
04:49:59 p. m.	221	04:57:03 p. m.	228	05:04:08 p. m.	223
04:50:00 p. m.	225	04:57:04 p. m.	228	05:04:09 p. m.	224
04:50:01 p. m.	223	04:57:05 p. m.	226	05:04:10 p. m.	225
04:50:02 p. m.	221	04:57:06 p. m.	227	05:04:11 p. m.	224
04:50:03 p. m.	224	04:57:07 p. m.	229	05:04:12 p. m.	223
04:50:04 p. m.	225	04:57:08 p. m.	225	05:04:13 p. m.	224
04:50:05 p. m.	225	04:57:09 p. m.	224	05:04:14 p. m.	226
04:50:06 p. m.	227	04:57:10 p. m.	222	05:04:15 p. m.	229
04:50:07 p. m.	223	04:57:11 p. m.	221	05:04:16 p. m.	226
04:50:08 p. m.	227	04:57:12 p. m.	226	05:04:17 p. m.	226
04:50:09 p. m.	226	04:57:13 p. m.	224	05:04:18 p. m.	223
04:50:10 p. m.	226	04:57:14 p. m.	229	05:04:19 p. m.	226
04:50:11 p. m.	224	04:57:15 p. m.	224	05:04:20 p. m.	220
04:50:12 p. m.	224	04:57:16 p. m.	224	05:04:21 p. m.	223
04:50:13 p. m.	220	04:57:17 p. m.	220	05:04:22 p. m.	227
04:50:14 p. m.	224	04:57:18 p. m.	227	05:04:23 p. m.	229
04:50:15 p. m.	221	04:57:19 p. m.	227	05:04:24 p. m.	221
04:50:16 p. m.	222	04:57:20 p. m.	221	05:04:25 p. m.	224
04:50:17 p. m.	220	04:57:21 p. m.	229	05:04:26 p. m.	226
04:50:18 p. m.	223	04:57:22 p. m.	228	05:04:27 p. m.	229
04:50:19 p. m.	222	04:57:23 p. m.	227	05:04:28 p. m.	224
04:50:20 p. m.	226	04:57:24 p. m.	224	05:04:29 p. m.	226
04:50:21 p. m.	223	04:57:25 p. m.	222	05:04:30 p. m.	224
04:50:22 p. m.	228	04:57:26 p. m.	227	05:04:31 p. m.	227