

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA,
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA OBTENER
VALORES DE EFICIENCIA REPRESENTATIVOS PARA LA
ENSEÑANZA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES (SOLAR,
EÓLICA, HIDRÓGENO-ELECTROLISIS Y PILAS DE
COMBUSTIBLE) UTILIZANDO EL EQUIPO DE
LABORATORIO “CLEAN ENERGY TRAINER”**

AUTORES:

ALAN FELIPE MALLAGUARI BARROS

FREDDY ROLANDO SHICAY ARIAS

DIRECTOR:

ING. JOHN CALLE, MSc.

CUENCA - ECUADOR

Febrero 2015

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Este documento se declara bajo juramento que es de exclusiva responsabilidad de los autores; y que los conceptos desarrollados han sido tomados de las referencias bibliográficas que se adjuntaran en este documento.

La Universidad Politécnica Salesiana, tiene la facultad para hacer uso de los derechos correspondientes del presente trabajo de tesis, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, para fines educativos.

Cuenca, Febrero 2015



Alan Felipe Mallaguari Barros



Freddy Rolando Shicay Arias

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores ALÁN FELIPE MALLAGUARI BARROS Y FREDDY ROLANDO SHICAY ARIAS, bajo mi supervisión.

Cuenca, Febrero 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'John Calle', is positioned above a horizontal line.

Ing. John Calle, MSc.

Director de Tesis

DEDICATORIA

Quiero dedicar la presente tesis a mis queridos padres, Felipe y Carmen, quienes con sus consejos me brindaron todo el apoyo y amor incondicional, ayudándome en mis estudios para formarme como la persona que soy ahora.

A mis hermana/os que de una u otra forma me han guiado para no rendirme nunca y seguir de pie para lograr mis metas.

ALAN

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por haberme permitido cumplir una meta más; por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y por brindarme experiencias y enseñanzas en el transcurso de mi carrera.

A mis padres y hermana/os que por sus consejos nunca me rendí.

A mi familia que me han alentado para seguir adelante.

Al Ing. John Calle que por su paciencia y apoyo al colaborar en el desarrollo de la presente tesis.

ALAN

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto y meta cumplida a mis padres Manuel Shicay y Luz Arias ya que ellos han sido mi apoyo y fuerza en los momentos difíciles, además por ellos he salido adelante cumpliendo mis objetivos, siempre han luchado para mi superación y por todo esto sé que ellos estarán orgulloso de mi.

FREDDY

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme llegar a estas instancias, a mi familia por el apoyo inmensurable que siempre he recibido.

A mis amigos y amigas que logré hacer durante toda esta etapa universitaria gracias a ellos viví momentos gratos e inolvidables, a mi compañero de tesis con el que logré vencer muchos obstáculos en este proyecto.

A mis profesores de todos los ciclos gracias por todos los conocimientos transmitidos además de valores humanos que me formaron como una persona correcta y ética, un agradecimiento especial a mi director de tesis John Calle por guiar y corregir constantemente nuestro trabajo.

FREDDY

RESUMEN

En este proyecto de tesis se presenta un análisis detallado de las energías renovables mediante el uso del equipo CLEAN ENERGY TRAINER, el cual ofrece la posibilidad de realizar prácticas con módulos solares, generador eólico, electrólisis y pila de combustible; éstas son energías limpias y de fuente inagotable.

En las diferentes prácticas se estudiarán las variables que intervienen en cada sistema, además de variar las mismas para obtener distintos resultados y determinar en qué condiciones existe mayor eficiencia. Las prácticas se simulan en laboratorio, es decir, se reemplaza la luz del sol y el viento natural; por una lámpara y un ventilador respectivamente. Cada práctica contiene gráficas explicativas que indican el comportamiento de los valores de tensión, corriente y potencia, de esta manera se puede llegar a determinar cuál o cuáles sistemas podemos instalar en la vida real.

Finalmente se presentan observaciones y conclusiones en cada una de las prácticas realizadas y los experimentos son expuestos en un formato para que los estudiantes puedan realizar sus propias prácticas lo cual lleva a una mejor comprensión de los temas tratados.

Palabras clave: Energías limpias, renovable, solar, eólica, electrólisis, Pila de combustible.

ABSTRACT

This project presents a detailed analysis of renewable energy using equipment CLEAN ENERGY TRAINER, this offers the possibility to practice with solar modules, wind generator, electrolysis and fuel cell analysis; they are clean and inexhaustible source of energy.

In practice, the variables involved in each system are studied, in addition to varying the same for different results and determine under what conditions there is greater efficiency. The practices are simulated in Laboratorio, ie, sunlight and natural wind is replaced; by a lamp and a fan respectively. Each practice contains explanatory graphs showing the behavior of the voltage, current and power, so you can get to determine which systems can be installed or in real life.

Finally observations and conclusions in each of the practices and experiments are presented in a format for students to make their own practices which leads to a better understanding of the issues presented.

Keywords: Clean energy, renewable, solar, wind, electrolysis, fuel cell.

ÍNDICE

CAPITULO I	1
ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE SISTEMAS SOLARES UTILIZANDO EL EQUIPO CLEAN ENERGY TRAINER.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Ventajas y desventajas de la energía solar	3
1.3 Componentes del equipo CLEAN ENERGY TRAINER.	3
1.3.1 Módulo solar	4
1.3.1.1 Células solares de alta eficiencia	6
1.3.2 Lámpara	6
1.3.3 USB-Data Monitor.....	7
1.3.4 Luxómetro.....	8
1.4 Manejo del Software.	8
1.5 Variables del sistema.	11
1.5.1 Ángulo de incidencia de la luz.....	11
1.5.2 Intensidad lumínica.....	11
1.6 Prácticas con el equipo.....	12
PRÁCTICA N°.....	13
PRÁCTICA N°.....	23
CAPITULO II.....	38
ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE SISTEMAS EÓLICOS UTILIZANDO CLEAN ENERGY TRAINER.....	38
2.1 Introducción.....	38
2.2 Componentes del equipo CLEAN ENERGY TRAINER	40
2.2.1 Anemómetro	41
2.2.2 Generador eólico.....	42
2.2.3 Ventilador	44
2.2.4 USB-Data Monitor.....	44
2.2.5 Cables rojos y negros	44
2.3 Variables del sistema.	45
2.3.1 Posición de la aspa.....	45
2.3.2 Número de aspas.....	45
2.3.2 Velocidad del viento.	46
2.4 Manejo del Software.....	46
2.5 Prácticas con el equipo.....	51

PRÁCTICA N°	52
PRÁCTICA N°	64
CAPITULO III.....	72
ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE SISTEMAS DE ELECTRÓLISIS Y PILA DE COMBUSTIBLE UTILIZANDO EL EQUIPO CLEAN ENERGY TRAINER.....	72
3.1 Introducción.....	72
3.2 Aplicaciones.....	75
3.3 Componentes del equipo CLEAN ENERGY TRAINER	75
3.3.1 Cronómetro	76
3.3.2 Fuente de alimentación externa.....	76
3.3.3 Acumulador de agua	77
3.3.4 Mangueras de conexión	77
3.3.5 Tapones de cierre	78
3.3.6 Electrolizador.....	78
3.3.7 Pila de combustible	79
3.3.8 Consumidor (casa con dos bombillas)	80
3.3.9 Agua destilada.....	80
3.3.10 USB-Data Monitor	80
3.3.11 Cables rojos y negros	81
3.4 Variables del sistema.	81
3.4.1 Tensión de electrolización.	82
3.4.2 Tiempo de electrolización.....	82
3.4.3 Alimentación de hidrógeno a la pila de combustible	82
3.5 Manejo del Software.....	82
3.6 Prácticas con el equipo.....	89
PRACTICA N°	90
PRACTICA N°	102
PRACTICA N°	112
CAPITULO IV.....	118
ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGÍAS RENOVABLES	118
4.1 Introducción.....	118
4.2 Componentes del equipo CLEAN ENERGY TRAINER	119
4.3 Manejo del Software.....	120
4.4 Prácticas con el equipo.....	127

PRÁCTICA N°	128
PRÁCTICA N°	135
PRACTICA N°	145
CONCLUSIONES	160
RECOMENDACIONES	162
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	163

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

<i>FIGURA 1. 1: ESQUEMA BÁSICO SEMICONDUCTOR</i>	2
<i>FIGURA 1. 2: COMPONENTES MÓDULO SOLAR</i>	4
<i>FIGURA 1. 3: MÓDULO SOLAR</i>	5
<i>FIGURA 1. 4: CONEXIÓN EN SERIE Y PARALELO DE LOS MÓDULOS SOLARES</i>	6
<i>FIGURA 1. 5: LÁMPARA 75W</i>	7
<i>FIGURA 1. 6: USB-DATA MONITOR</i>	7
<i>FIGURA 1. 7: LUXÓMETRO</i>	8
<i>FIGURA 1. 8: CALIBRACIÓN USB-DATA MONITOR</i>	9
<i>FIGURA 1. 9: CALIBRACIÓN USB-DATA MONITOR REAL</i>	9
<i>FIGURA 1. 10: SELECCIÓN DEL SISTEMA</i>	9
<i>FIGURA 1. 11: ESQUEMA GENERAL DE CONEXIÓN DEL MÓDULO SOLAR</i>	10
<i>FIGURA 1. 12: INSERTAR Y GUARDAR DATOS</i>	10
<i>FIGURA 1. 13: ÁNGULO DEL MÓDULO SOLAR</i>	11

CAPITULO II

<i>FIGURA 2. 1: AEROGENERADOR TIPO SOTAVENTO</i>	38
<i>FIGURA 2. 2: AEROGENERADOR TIPO BARLOVENTO</i>	38
<i>FIGURA 2. 3: AEROGENERADOR TIPO DARRIEUS</i>	39
<i>FIGURA 2. 4: AEROGENERADOR TIPO SAVONIUS</i>	39
<i>FIGURA 2. 5: AEROGENERADOR TIPO GIROMIL</i>	39
<i>FIGURA 2. 6: AEROGENERADOR TIPO WINDSIDE</i>	39
<i>FIGURA 2. 7: RENDIMIENTO AERODINÁMICO DE VARIOS AEROGENERADORES</i>	40
<i>FIGURA 2. 8: SISTEMA EÓLICO</i>	41
<i>FIGURA 2. 9: ANEMÓMETRO</i>	41
<i>FIGURA 2. 10: GENERADOR EÓLICO</i>	42
<i>FIGURA 2. 11: PALA</i>	42
<i>FIGURA 2. 12: ROTOR</i>	43
<i>FIGURA 2. 13: BASE</i>	43
<i>FIGURA 2. 14: VENTILADOR</i>	44
<i>FIGURA 2. 15: USB-DATA MONITOR</i>	44
<i>FIGURA 2. 16: CABLES ROJOS Y NEGROS</i>	45
<i>FIGURA 2. 17: CONEXIÓN DEL USB-MONITOR</i>	46
<i>FIGURA 2. 18: CONEXIÓN EN CORTOCIRCUITO DEL SOFTWARE</i>	47
<i>FIGURA 2. 19: CONEXIÓN EN CORTOCIRCUITO REAL</i>	47
<i>FIGURA 2. 20: CALIBRACIÓN DE CORTOCIRCUITO</i>	47

<i>FIGURA 2. 21: SELECCIÓN DE SISTEMA.....</i>	<i>48</i>
<i>FIGURA 2. 22: MENSAJE DE CONEXIÓN DEL GENERADOR EÓLICO.....</i>	<i>48</i>
<i>FIGURA 2. 23: CONEXIÓN DEL AEROGENERADOR EÓLICO AL USB-DATA MONITOR.....</i>	<i>48</i>
<i>FIGURA 2. 24: SELECCIÓN DE MODO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.....</i>	<i>49</i>
<i>FIGURA 2. 25: REGISTRO DE DATOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN.....</i>	<i>49</i>
<i>FIGURA 2. 26: GRÁFICO DE CURVA DE POTENCIA.....</i>	<i>50</i>
<i>FIGURA 2. 27: GUARDADO DE REGISTRO DE DATOS.....</i>	<i>50</i>

CAPITULO III

<i>FIGURA 3. 1: PROPIEDADES COMPARATIVAS DE COMBUSTIBLES.....</i>	<i>72</i>
<i>FIGURA 3. 2: ESQUEMA DEL PROCESO DE ELECTRÓLISIS.....</i>	<i>73</i>
<i>FIGURA 3. 3: ESQUEMA PILA DE COMBUSTIBLE.....</i>	<i>74</i>
<i>FIGURA 3. 4: SISTEMA DE ELECTRÓLISIS CON PILA DE COMBUSTIBLE.....</i>	<i>76</i>
<i>FIGURA 3. 5: CRONÓMETRO.....</i>	<i>76</i>
<i>FIGURA 3. 6: FUENTE DE ALIMENTACIÓN EXTERNA.....</i>	<i>77</i>
<i>FIGURA 3. 7: ACUMULADOR.....</i>	<i>77</i>
<i>FIGURA 3. 8: MANGUERAS DE CONEXIÓN.....</i>	<i>78</i>
<i>FIGURA 3. 9: TAPÓN DE CIERRE.....</i>	<i>78</i>
<i>FIGURA 3. 10: ELECTRÓLITO.....</i>	<i>78</i>
<i>FIGURA 3. 11: ELECTRÓLITO VISTA LATERAL DERECHA.....</i>	<i>79</i>
<i>FIGURA 3. 12: PILA DE COMBUSTIBLE.....</i>	<i>79</i>
<i>FIGURA 3. 13: CONSUMIDOR.....</i>	<i>80</i>
<i>FIGURA 3. 14: AGUA DESTILADA.....</i>	<i>80</i>
<i>FIGURA 3. 15: USB-DATA MONITOR.....</i>	<i>81</i>
<i>FIGURA 3. 16: CABLES ROJOS Y NEGROS.....</i>	<i>81</i>
<i>FIGURA 3. 18: CONEXIÓN DEL USB-MONITOR.....</i>	<i>82</i>
<i>FIGURA 3. 19: CONEXIÓN EN CORTOCIRCUITO DEL SOFTWARE.....</i>	<i>83</i>
<i>FIGURA 3. 20: CONEXIÓN EN CORTOCIRCUITO REAL.....</i>	<i>83</i>
<i>FIGURA 3. 22: SELECCIÓN DE SISTEMA.....</i>	<i>83</i>
<i>FIGURA 3. 23: MENSAJE DE CONEXIÓN DEL ELECTROLIZADOR.....</i>	<i>83</i>
<i>FIGURA 3. 24: CONEXIÓN DEL ELECTROLIZADOR AL USB-DATA MONITOR.....</i>	<i>84</i>
<i>FIGURA 3. 25: SELECCIÓN DE MODO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.....</i>	<i>84</i>
<i>FIGURA 3. 26: REGISTRO DE DATOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN.....</i>	<i>85</i>
<i>FIGURA 3. 27: GRÁFICO DE CURVA DE POTENCIA.....</i>	<i>85</i>
<i>FIGURA 3. 28: GUARDADO DE REGISTRO DE DATOS.....</i>	<i>86</i>
<i>FIGURA 3. 29: SELECCIÓN DE LA OPCIÓN DE PILA DE COMBUSTIBLE.....</i>	<i>86</i>
<i>FIGURA 3. 30: MENSAJE DE CONEXIÓN DE LA PILA DE COMBUSTIBLE.....</i>	<i>86</i>
<i>FIGURA 3. 31: CONEXIÓN DE LA PILA DE COMBUSTIBLE AL USB-DATA MONITOR.....</i>	<i>87</i>
<i>FIGURA 3. 32: SELECCIÓN DE MODO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA.....</i>	<i>87</i>
<i>FIGURA 3. 33: REGISTRO DE DATOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN.....</i>	<i>88</i>
<i>FIGURA 3. 34: GRÁFICO DE CURVA DE POTENCIA.....</i>	<i>88</i>
<i>FIGURA 3. 35: GUARDADO DE REGISTRO DE DATOS.....</i>	<i>89</i>

CAPITULO IV

<i>FIGURA 4. 1: ESQUEMA, COMBINACIÓN DE ENERGÍAS.....</i>	<i>119</i>
<i>FIGURA 4. 2: ESQUEMA DE ENERGÍAS RENOVABLES.....</i>	<i>120</i>
<i>FIGURA 4. 3: CONEXIÓN DEL USB-MONITOR.....</i>	<i>121</i>
<i>FIGURA 4. 4: CONEXIÓN EN CORTOCIRCUITO DEL SOFTWARE.....</i>	<i>121</i>

<i>FIGURA 4. 5: CONEXIÓN EN CORTOCIRCUITO REAL</i>	121
<i>FIGURA 4. 6: CALIBRACIÓN DE CORTOCIRCUITO</i>	122
<i>FIGURA 4. 7: SELECCIÓN DE SISTEMA</i>	122
<i>FIGURA 4. 8: MENSAJE DE CONEXIÓN DEL ELECTROLIZADOR</i>	122
<i>FIGURA 4. 9: CONEXIÓN DE ALIMENTACIÓN EXTERNA</i>	122
<i>FIGURA 4. 10: CONEXIÓN DEL ELECTROLIZADOR AL USB-DATA MONITOR</i>	123
<i>FIGURA 4. 11: SELECCIÓN DE MODO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA</i>	123
<i>FIGURA 4. 12: REGISTRO DE DATOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN</i>	124
<i>FIGURA 4. 13: GUARDADO DE REGISTRO DE DATOS</i>	124
<i>FIGURA 4. 14: SELECCIÓN DE LA OPCIÓN DE SIMULAR PERFIL DE CARGA</i>	125
<i>FIGURA 4. 15: MENSAJE DE CONEXIÓN DE LA PILA DE COMBUSTIBLE</i>	125
<i>FIGURA 4. 16: CONEXIÓN DE LA PILA DE COMBUSTIBLE AL USB-DATA MONITOR</i>	125
<i>FIGURA 4. 17: SELECCIÓN DE MODO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA</i>	125
<i>FIGURA 4. 18: REGISTRO DE DATOS DE CORRIENTE Y TENSIÓN</i>	126
<i>FIGURA 4. 19: GUARDADO DE REGISTRO DE DATOS</i>	127

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I

<i>TABLA 1. 1: DATOS TÉCNICOS DEL MÓDULO SOLAR</i>	5
--	---

CAPITULO II

<i>TABLA 2. 1: POSICIONES DE LAS ASPAS</i>	45
--	----

CAPITULO III

<i>TABLA 3. 1: TIPOS DE PILAS DE COMBUSTIBLES</i>	74
---	----

CAPITULO I

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE SISTEMAS SOLARES UTILIZANDO EL EQUIPO CLEAN ENERGY TRAINER

1.1 Introducción.

En este capítulo se analizará la energía solar, los componentes y las instalaciones que se requieren para transformarla en electricidad, ya que en la actualidad es necesario tener energías limpias y renovables, en un medio en el que hay mucha contaminación; además los sistemas energéticos deben ir cambiando y adaptándose a la tecnología actual. Se estima que la energía solar es tan abundante, que en sólo veinte días ésta es superior a la que se puede producir por todos los sectores de petróleo, el carbón y el gas en un año. [1] [2]

La energía solar que recibimos se debe a las diferentes reacciones de fusión nuclear que se producen en el sol, esta estrella produce y emite una gran cantidad de calor alcanzando temperaturas que van de 8 a 40 millones de grados Kelvin en su interior y de aproximadamente 6000 K° al exterior del sol, emitiendo una radiación aproximada de 63 540 720 W/m². [1]

La radiación solar ingresa a la atmósfera de diferentes maneras, pero la utilizada para los sistemas energéticos solares es la radiación directa; ésta es aquella que incide sobre la superficie terrestre, sin cambiar de dirección excepto la debida a refracción atmosférica. [2] [3]

La energía solar puede tener algunos usos como la transformación en calor (usado para calentar fluidos) y la transformación en electricidad, llamada también energía fotovoltaica, ésta segunda es motivo de estudio de este capítulo. [2]

El efecto fotovoltaico es el principio que usan los sistemas solares y este es un fenómeno físico que consiste en la transformación de energía luminosa (o radiaciones ópticas) en energía eléctrica. Los fotones (partículas elementales portadoras de energía lumínica) incidentes sobre un determinado material, lo ionizan

al ser absorbidos por los electrones de su capa externa, debido a esta ionización aparecen cargas eléctricas (pares electrón-hueco). [3]

Para que se produzca el efecto fotovoltaico, se requiere un material cuya energía necesaria para romper un enlace entre átomos y liberar un electrón sea igual o inferior a la de los fotones de la radiación incidente, esto puede conseguirse de forma sencilla mediante el uso de una unión pn. La unión pn es un material semiconductor con una región tipo p (predominio de huecos respecto a los electrones) y otra tipo n (electrones como portadores mayoritarios), obtenidas a partir de procesos de dopado. El campo eléctrico es el que permite separar los pares electrón-hueco generados mediante la absorción de fotones por el material semiconductor. [2] [3]

El dispositivo que permite el efecto fotovoltaico se llama célula solar, el silicio constituye el material más utilizado para la fabricación de células solares. [4]

Un esquema básico de un semiconductor (Figura 1.1) se muestra al menor nivel de energía que se denomina banda de valencia (E_v), y al nivel en el que el electrón está libre se denomina banda de conducción (E_c). El ancho de banda prohibida (E_g) es la distancia entre ambas bandas. Bajo excitación, los electrones que están en la banda de valencia pueden pasar a la banda de conducción, dejando un hueco en la de valencia. [3] [4]

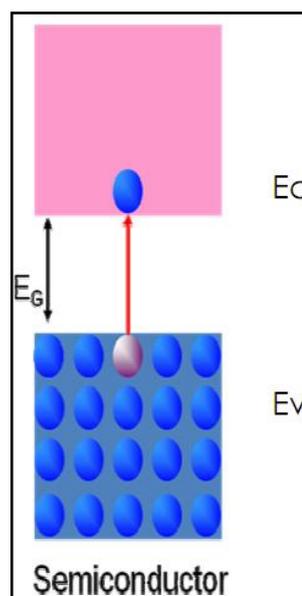


Figura 1. 1: Esquema básico semiconductor [4]

Puede suceder tres cosas con los fotones que llegan a la superficie del semiconductor: que sean reflejados por el material, absorbidos o transmitidos a través de él (que lo atraviese). Los fotones reflejados o transmitidos no contribuirán a la producción de electricidad. En relación con los fotones absorbidos tenemos tres casos:

$E_{ph} < E_g$ la energía del fotón es menor que la del ancho de banda prohibida del semiconductor, por lo que no intervendrá a la generación de corriente. El fotón lo atravesará como si fuese transparente.

$E_{ph} = E_g$ el fotón posee la energía mínima para producir un par electrón-hueco.

$E_{ph} > E_g$ es un fotón con mucha energía. Hace que un electrón pase a la banda de conducción, disipándose el exceso de energía en forma de calor. [2] [4]

1.2 Ventajas y desventajas de la energía solar

Ventajas:

- El impacto ambiental es mínimo.
- No produce residuos perjudiciales.
- Fuente inagotable y distribuida por todo el mundo.
- Idóneo para zonas rurales, donde no llega el tendido eléctrico.
- Mantenimiento sencillo, además después de la instalación no requiere otros costes.
- Puede instalarse en tejados y edificios, por lo que no se requieren espacios extras.
- No hay dependencia de las compañías suministradoras de energía.

Desventajas:

- La radiación solar varía según la temporada del año.
- Al necesitar energía para gran parte de la población se requieren espacios grandes.
- Se necesita una fuerte inversión económica al inicio de la instalación. [2]

1.3 Componentes del equipo CLEAN ENERGY TRAINER.

Para el desarrollo de las prácticas solares a continuación de describirán los componentes a utilizar: (Figura 1.2)

- A. Módulos solares
- B. Lámpara de 75 W
- C. USB-Data Monitor
 - a. Cable USB
 - b. PC o laptop con software instalado
- D. Luxómetro.
- E. Cables: negro, rojo

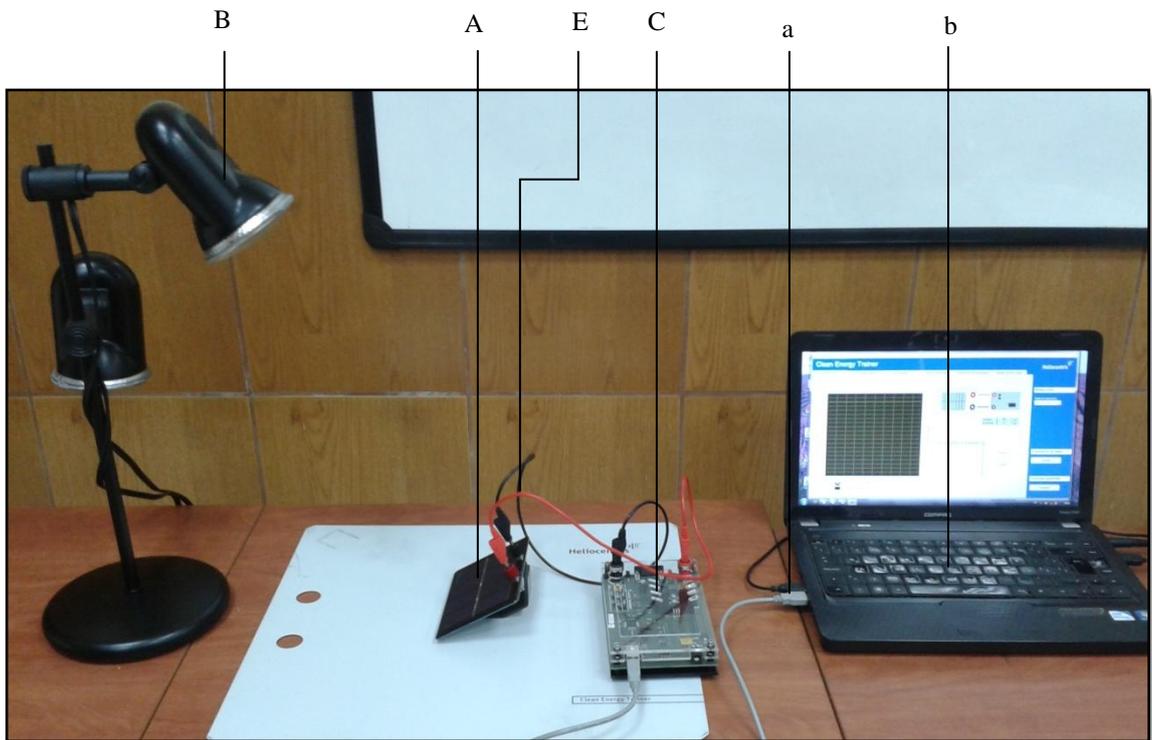


Figura 1. 2: Componentes módulo solar

1.3.1 Módulo solar

El módulo solar permite transformar la energía solar en energía eléctrica (corriente continua). Para los experimentos realizados se reemplazará la luz del sol por la luz emitida por una lámpara. El módulo solar del equipo puede sufrir daños por altas temperaturas así que la lámpara debe estar instalada a una distancia mínima de 50 cm. Se muestra una fotografía del módulo solar del equipo (Figura 1.3) y sus datos técnicos (Tabla 1.1).

Además el módulo posee un soporte magnético con el cual se mantiene fijo a la base y también facilita el cambio de ángulo del módulo, por último también se compone por las salidas de conexión, ahí se conectarán mediante las bananas (rojo positivo, negro negativo) hacia el USB-Data Monitor.

Denominación	Especificación
Potencia	2,0 V / 600 mA
Al x An x P	135 x 95 x 30 mm
Peso	89 g
Superficie activa	$4 \times 8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

Tabla 1. 1: Datos técnicos del módulo solar

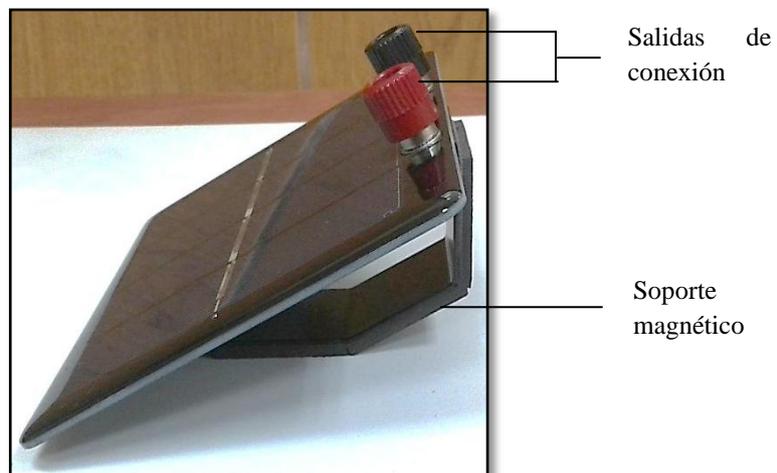


Figura 1. 3: Módulo solar

Para los experimentos se puede utilizar uno o dos módulos solares sabiendo que hay dos opciones de conexión ya sea en paralelo o en serie (Figura 1.4). Si conectamos en paralelo se sumará la corriente y si conectamos en serie se sumarán los voltajes de cada módulo.

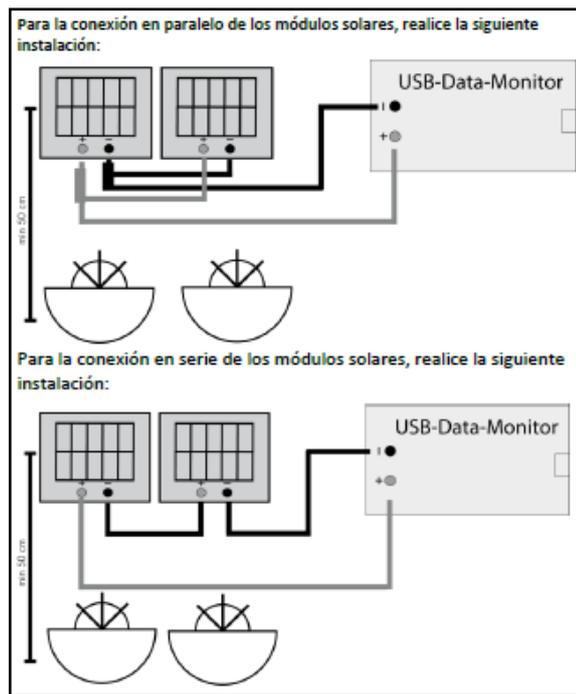


Figura 1. 4: Conexión en serie y paralelo de los módulos solares

1.3.1.1 Células solares de alta eficiencia

- *Célula tipo PERL*: Con las siglas PERL se denotan a las células que tienen pasivadas las caras frontal y posterior con una capa de óxido de silicio de alta calidad y que, con el fin de mejorar los contactos, poseen difusiones localizadas muy dopadas bajo los mismos (PERL: Passivated Emitter with rear locally diffused cell), este tipo de células son las que tiene el equipo Clean Energy Trainer.

- *Célula tipo PERC*: Las células tipo PERC (Passivated Emitter and Rear Cell) poseen una estructura parecida a la anterior en el sentido de que utiliza capas pasivadoras para reducir la recombinación de las caras frontal y posterior, si bien sus técnicas de fabricación están próximas a las de la industria fotovoltaica. El contacto trasero continúa siendo puntual

1.3.2 Lámpara

La lámpara se usará para simular la luz del sol sobre los módulos solares, ésta funciona con 110V y posee dos lámparas halógenas de 75W; además para el mejor manejo el conjunto consta de un soporte y una base (Figura 1.5).

La altura y dirección de las bombillas son regulables, esto es importante ya que se necesitará modificar esto en las prácticas. Es conveniente apagar la lámpara el momento que no se está usando.

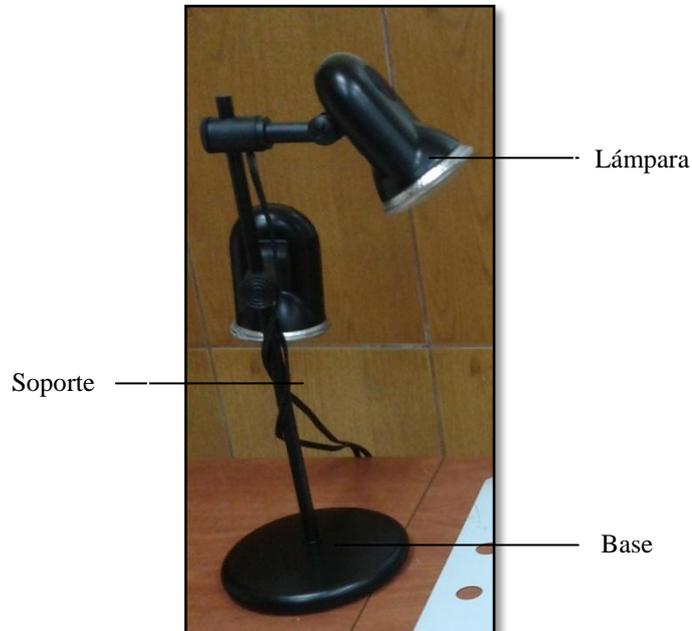


Figura 1. 5: Lámpara 75W

1.3.3 USB-Data Monitor

El Clean Energy Monitor se puede utilizar como aparato de medición, simulador de fuente y de sumidero, así como fuente de tensión continua, es el medio de comunicación entre los módulos solares y el computador, posee una carga externa de 6V, un cable USB con conexión al PC y dos terminales como periféricos de entrada y salida de datos (Figura 1.6).

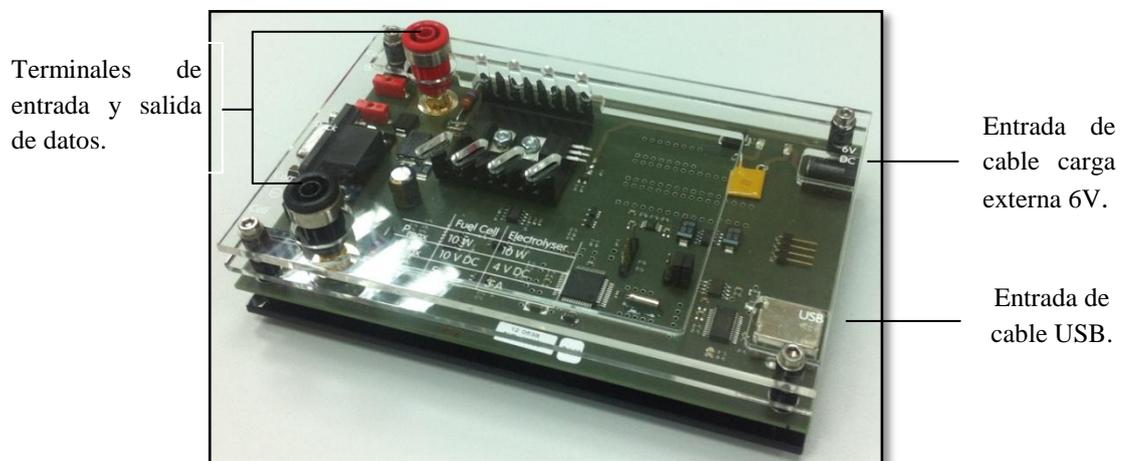


Figura 1. 6: USB-Data Monitor

1.3.4 Luxómetro

El luxómetro es un instrumento de medición que permite medir simple y rápidamente la iluminancia real y no subjetiva de un ambiente. La unidad de medida es el lux (lx). Contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en impulsos eléctricos, los cuales son interpretados y representada en un display o aguja con la correspondiente escala de luxes. Será utilizado en las prácticas para obtener datos de intensidad de luz de la lámpara (Figura 1.7).



Figura 1. 7: Luxómetro

1.4 Manejo del Software.

Para realizar las prácticas con los módulos solares es necesario instalar un software CLEAN ENERGY TRAINER en la PC. Para el correcto uso hay que seguir los siguientes pasos:

- a) Se conecta el USB-Data Monitor a la alimentación externa (6V) y al PC.
- b) Ejecutamos el software en modo administrador.
- c) Una vez que se reconoce el dispositivo, se pide calibrar el USB-Data Monitor, para lo cual conectamos las bananas en cortocircuito hasta que el software nos indique desconectarlo (Figura 1.8-1.9).



Figura 1. 8: Calibración USB-Data Monitor

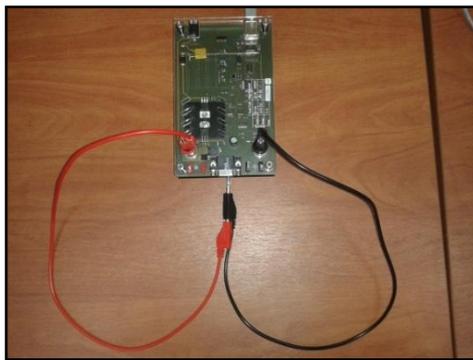


Figura 1. 9: Calibración USB-Data Monitor real

- d) Una vez abierto la ventana principal del software, podemos elegir entre varias opciones de prácticas en este caso se elige la pestaña de módulo solar. (Figura 1.10)



Figura 1. 10: Selección del sistema

- e) Se visualizara una ventana la cual dice “Conecte el módulo solar al USB-Data Monitor” se dará clic en aceptar y conectamos con las bananas los módulos solares al USB-Data Monitor. A continuación se observa un esquema general de conexión: lámpara → módulo → USB-Data → PC. (Figura 1.11)

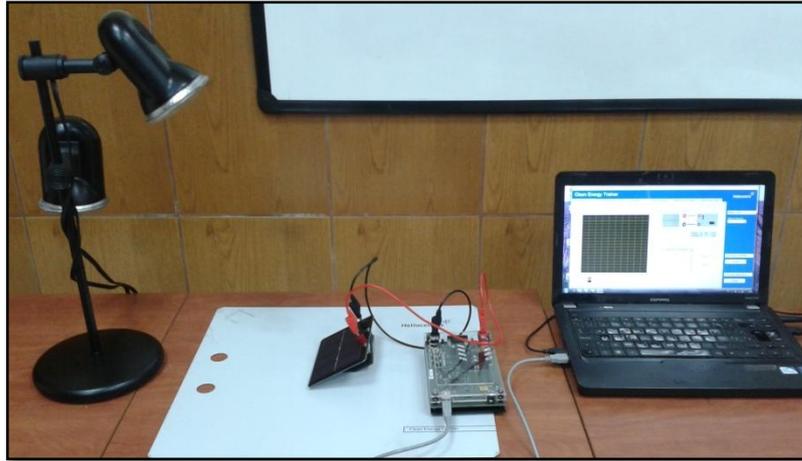


Figura 1. 11: Esquema general de conexión del módulo solar

- f) En el software en la parte derecha se tiene una opción donde se indica el modo de operación, en el que podemos seleccionar modo manual o automático y a su vez podemos dar la corriente con un rango de 0 a 5000 mA.
- g) A continuación se pueden obtener datos (selección manual) haciendo clic en insertar, así los datos se irán guardando en la tabla mostrada en el software, estos datos pueden ser guardados con formato .csv y se pueden visualizar en Excel. (Figura 1.12)

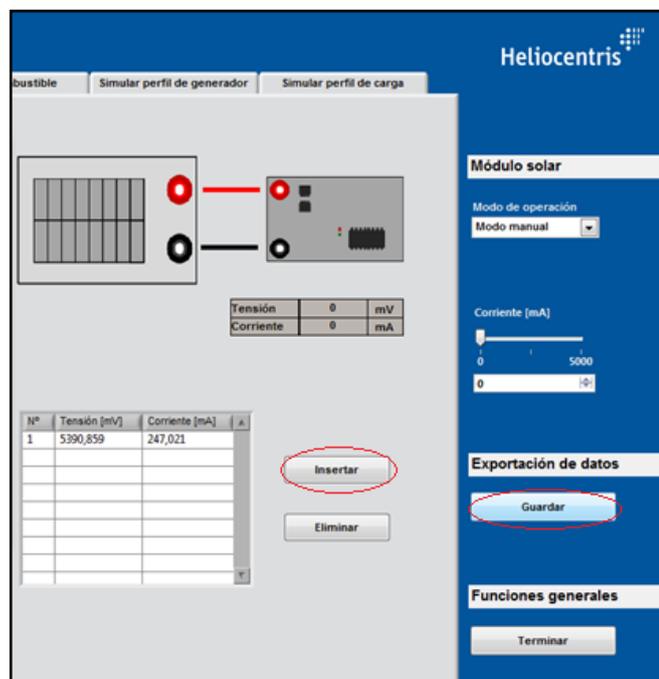


Figura 1. 12: Insertar y guardar datos

- h) Finalmente en el modo de operación seleccionamos la opción “desconectado” y en la parte inferior se da clic en “Terminar” para salir del programa.

1.5 Variables del sistema.

Las variables a considerar para el sistema solar dependen de:

- Ángulo de incidencia de la luz
- Intensidad de la luz

1.5.1 Ángulo de incidencia de la luz

Una variable que influye en el comportamiento de los valores de tensión y corriente de los módulos solares es el ángulo con el que llega la luz, los valores de tensión más altos se registran cuando el ángulo es de 90° entre los rayos solares o en este caso la luz de la lámpara y el módulo solar. La razón es porque la luz ingresa directamente al módulo y es más fácil el movimiento de electrones entre las capas del semiconductor; al ingresar con un ángulo menor o mayor de 90° las ondas de luz no ingresan directamente por lo tanto se desvían y reducen su energía para pasar electrones de la banda de valencia a la banda de conducción, sabiendo que tienen que atravesar el ancho de banda prohibida (Figura 1.1)

Se puede cambiar la posición del módulo solar de tal manera de que se oriente a recibir directamente los rayos solares captando así mayor energía en sus fotones. (Figura 1.13)

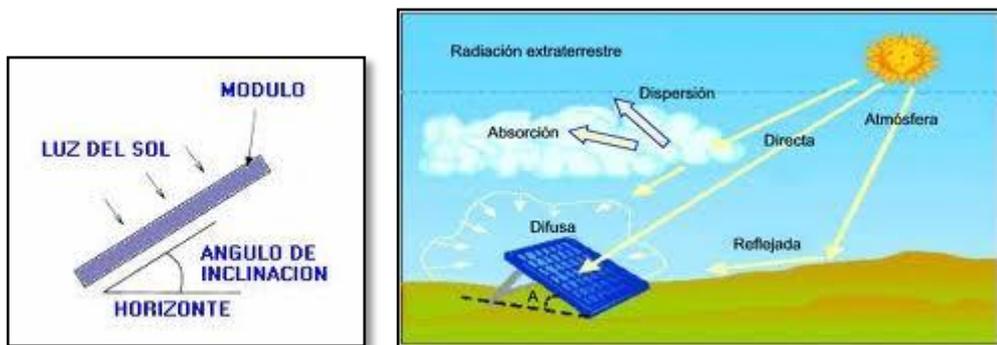


Figura 1. 13: Ángulo del módulo solar

1.5.2 Intensidad lumínica

Otra variable que influye en los valores de tensión y corriente es la intensidad lumínica, cuando la radiación solar es directa se cuenta con que la energía del fotón sea muy alta, lo suficiente para superar la energía que se necesita para atravesar el

ancho de banda prohibida de los módulos solares. La intensidad lumínica se puede medir con un luxómetro (sección 1.3.4) y se sabrá que hay una disminución de intensidad lumínica cuando haya obstáculos o sombras entre la luz y el módulo, esto suele ser muy común en casos reales por efecto de nubes, árboles, sombra de edificios u otros módulos, etc.

Para la realización de las prácticas se varían los valores de intensidad interponiendo objetos entre la lámpara y el módulo, estos pueden ser fundas, láminas de plástico o papel; el efecto que se dará será la obtención de valores de tensión y corriente por parte del módulo inferiores a los valores obtenidos con luz directa, es decir, con mayor intensidad lumínica.

1.6 Prácticas con el equipo.

El desarrollo presentado a continuación está realizado con prácticas reales en el equipo, cuyo esquema se muestra a continuación:

- Objetivos.
- Fundamento teórico.
- Esquema.
- Materiales a utilizar en las prácticas.
- Instrucciones de cómo usar el equipo.
- Desarrollo; que contiene fotos, gráficas, cálculos y tablas para la comparación de resultados.
- Cuestionarios; que contiene preguntas sobre el experimento, generales y de comprensión.
- Conclusiones y bibliografías.

Estas prácticas pertenecen al docente o instructor de prácticas y cada ítem antes mencionado está resuelto, de manera que los valores sirvan de guía para los estudiantes al momento de realizar sus prácticas.

PRÁCTICA N°	TIEMPO ESTIMADO	TEMA	INTEGRANTES
1	30 min	OBTENCIÓN DE VALORES DE TENSIÓN CON EL MÓDULO SOLAR CON ILUMINACIÓN DIRECTA E INDIRECTA	_____ _____ _____

1. OBJETIVOS

- Determinar en qué condiciones se puede obtener la máxima tensión con el módulo solar.
- Medir la tensión generada por el módulo en diferentes ángulos de incidencia de la luz.
- Medir la tensión generada por el módulo con una intensidad lumínica reducida.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico consiste en un fenómeno físico que se caracteriza por convertir la energía procedente de la luz solar en energía eléctrica. Al dispositivo capaz de realizar esta conversión se denomina célula solar.

Para ello se requiere primero de un material en el que la absorción de la luz haga que un electrón se promocioe a un nivel superior de energía, y segundo del movimiento de este electrón cargado de energía hasta un circuito externo. El electrón disipará esta energía en un circuito externo y volverá a la célula solar. [1]

La energía necesaria para liberar un electrón de un semiconductor es igual a la banda prohibida, que es la diferencia entre la banda de conducción y la banda de valencia. La banda prohibida es un parámetro propio de cada semiconductor (para el silicio es de 1.12 eV). Los fotones refractados en la superficie del emisor con mayor carga energética que la banda prohibida aportan la energía necesaria para generar un par electrón-hueco y liberar la energía adicional en forma de calor, mientras que el resto (con energía menor a la banda prohibida) atraviesa el material semiconductor, sin contribuir al efecto fotovoltaico. [2]

3. ESQUEMA

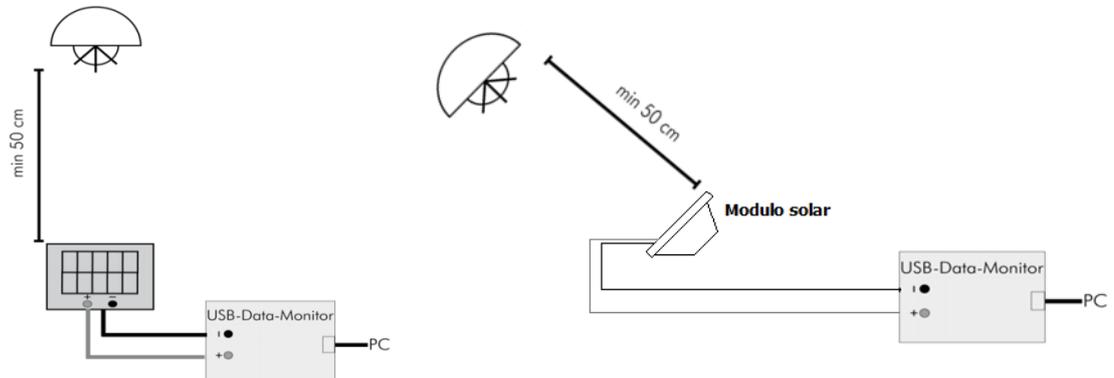


Figura 1: Esquema

4. MATERIALES

Módulo solar	Lámpara (mín. 75 W)
USB-Data Monitor	2 Cables: 1 negro, 1 rojo
Cable USB	Cinta métrica
PC con software instalado	
Base magnética	Objetos para oscurecer: lámina, papel

Tabla 1: Materiales

5. INSTRUCCIONES

- Arme la configuración de ensayo según lo mostrado en la figura 1.
- Ajuste la distancia entre la lámpara y el módulo solar a 50 cm. El ángulo de incidencia debería ser de aprox. 90° (en la lámpara hay una señal que indica los 90°).
- Inicie el software y seleccione la pestaña *MÓDULO SOLAR*.
- Conmute el modo de operación a *MODO MANUAL*.
- Encienda la lámpara.
- Tome los datos de tensión en mV
- Modifique manualmente el ángulo del módulo solar a 120° y 60° figura 3.
- La distancia frente al módulo solar se tiene que mantener siempre igual. Preste atención a que el pie magnético permanezca siempre en el mismo punto
- Tome nota de los valores medidos.
- Grafique los valores de tensión vs # de mediciones con luz directa a 90°, 120°, 60° en una sola gráfica y luz reducida con distintos objetos (lamina de plástico, funda de plástico, y hoja de papel) con todos los ángulos en otra gráfica.

6. DESARROLLO

POSICIONES DEL MÓDULO SOLAR RESPECTO A LA LÁMPARA.

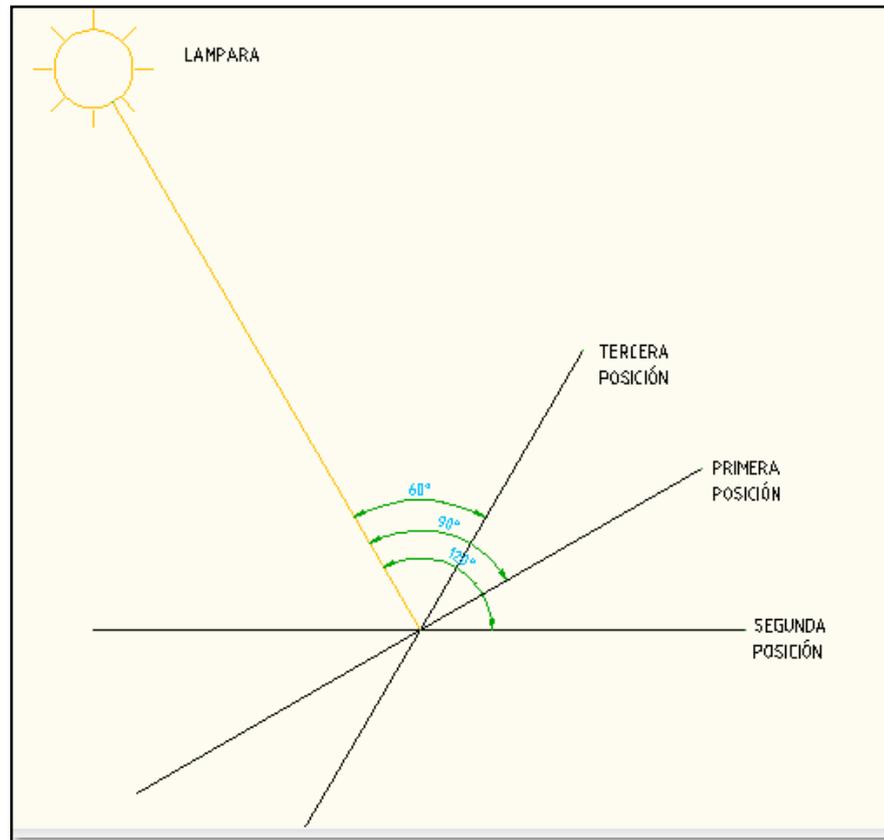


Figura2: Posición del módulo solar



Figura 3: Fotografías de las posiciones del módulo solar

LUZ DIRECTA.

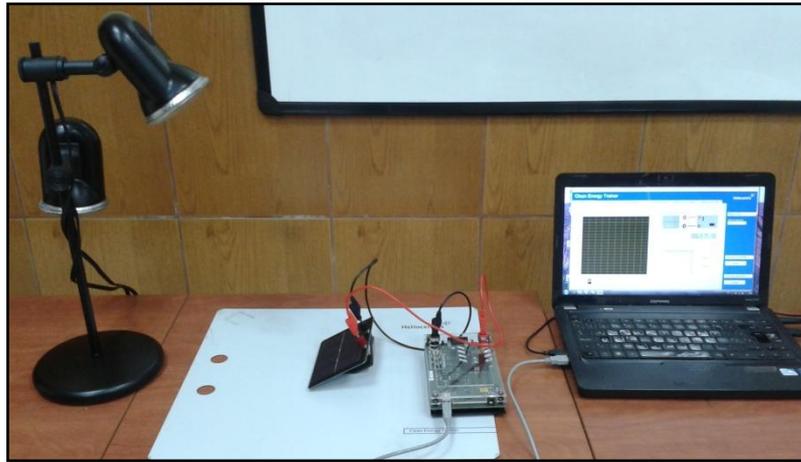


Figura 4: Foto del módulo recibiendo luz directa.

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE TENSIÓN [mV] OBTENIDOS DEL SOFTWARE CON LUZ DIRECTA			
N° de mediciones	Áng. 90°	Áng. 120°	Áng. 60°
1	2341,8	2219,34	2292,81
2	2339,22	2219,77	2286,37
3	2336,21	2217,62	2284,65
4	2326,76	2218,05	2281,64
5	2325,47	2215,9	2282,93

Tabla 2: Valores de tensión.

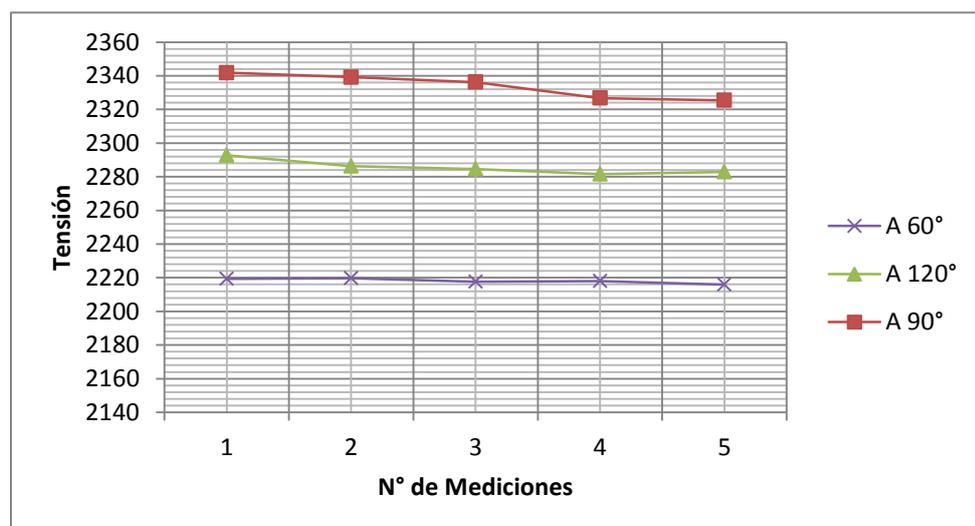


Gráfico 1: Curva de tensión 90° - 120° - 60°

INTENSIDAD LUMÍNICA REDUCIDA CON DISTINTOS OBJETOS

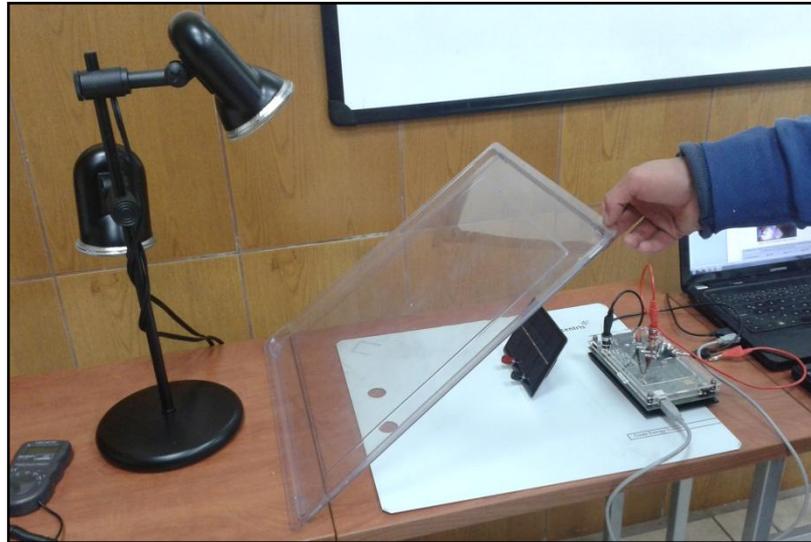


Figura5: Foto con intensidad lumínica reducida.

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE TENSIÓN [mV] OBTENIDOS DEL SOFTWARE CON LÁMINA DE PLASTICO			
N° de mediciones	Áng. 90°	Áng. 120°	Áng. 60°
1	2291,52	2137,27	2148,01
2	2290,66	2133,4	2152,31
3	2289,37	2135,55	2150,16
4	2288,09	2134,26	2151,02
5	2287,23	2132,54	2149,73

Tabla 1: Valores de tensión

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE TENSIÓN [mV] OBTENIDOS DEL SOFTWARE CON FUNDA PLASTICA			
N° de mediciones	Áng. 90°	Áng. 120°	Áng. 60°
1	2236,09	2053,05	2073,24
2	2232,23	2050,04	2070,66
3	2231,37	2050,04	2072,81
4	2228,36	2043,59	2072,38
5	2227,5	2044,88	2072,81

Tabla 2: Valores de tensión

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE TENSIÓN [mV] OBTENIDOS DEL SOFTWARE CON LÁMINA DE PAPEL

N° de mediciones	Áng. 90°	Áng. 120°	Áng. 60°
1	1676,21	1578,24	1631,95
2	1678,36	1587,27	1618,63
3	1681,37	1588,55	1616,48
4	1683,52	1588,98	1625,08
5	1686,95	1587,7	1628,51

Tabla 5: Valores de tensión

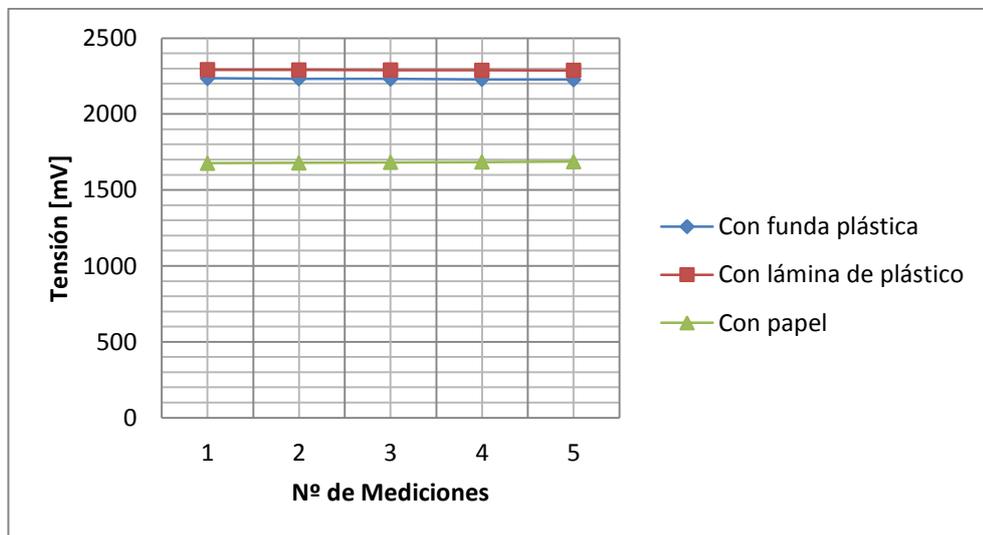


Gráfico 2: Curva de tensión con diferentes objetos a 90°

A 120°

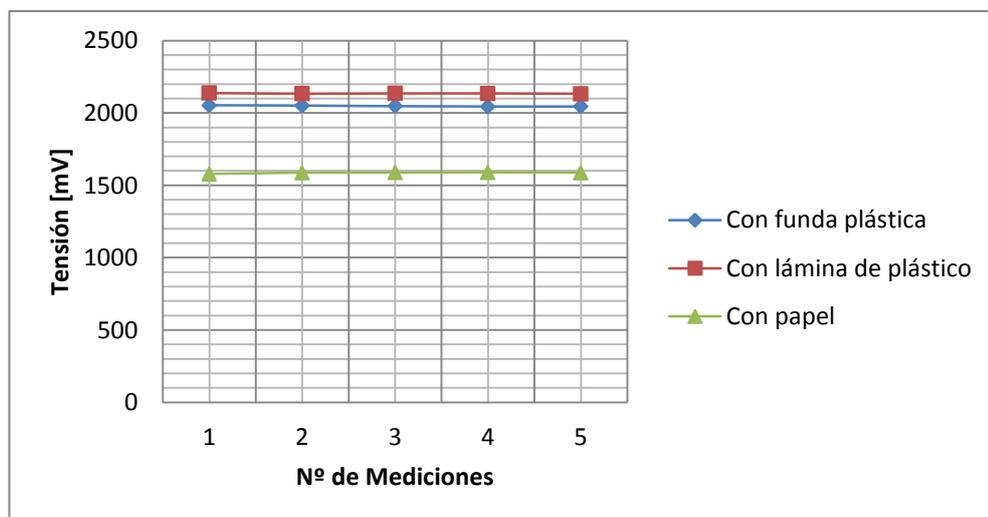


Gráfico 3: Curva de tensión con diferentes objetos a 120°

A 60°

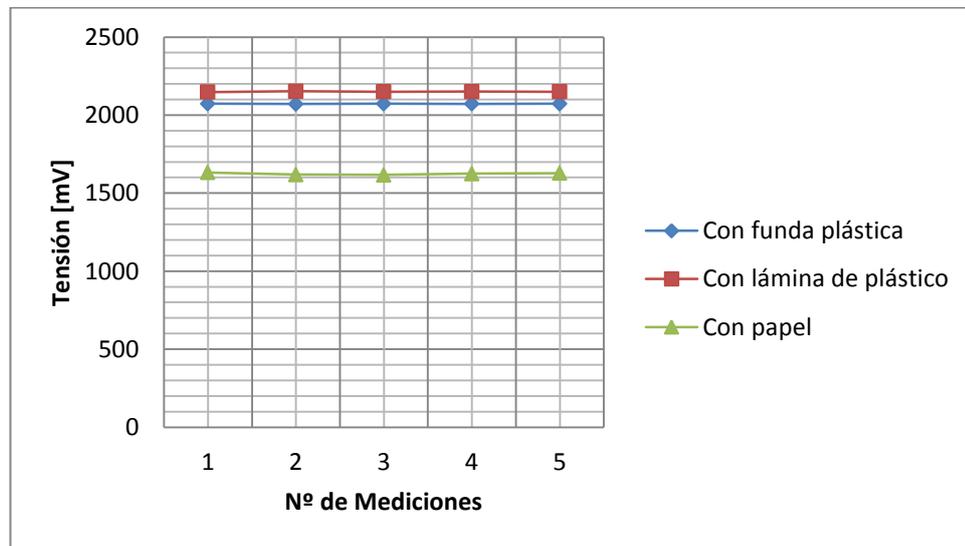


Gráfico 4: Curva de tensión con diferentes objetos a 60°

7. CUESTIONARIO

PREGUNTAS SOBRE EL EXPERIMENTO

1. ¿Cómo se comportan los valores medidos en función del ángulo de colocación?

Los valores medidos varían según el ángulo, en los experimentos realizados se demuestra que obtenemos mayor voltaje y corriente en un ángulo de 90°, los valores disminuyen cuando el ángulo es de 120° y finalmente es menor cuando el ángulo es de 60°.

2. ¿Qué se puede decir generalmente sobre los valores medidos al aumentar continuamente la intensidad lumínica?

Los valores de voltaje son mayores cuando la intensidad lumínica es mayor.

3. ¿De qué factores depende el ángulo de incidencia ideal?

El factor principal es la cantidad de fotones que inciden directamente sobre la superficie, a la vez que esta sea grande y la intensidad de radiación especialmente alta.

4. ¿Qué puede contribuir a un sombreado?

El sombreado puede tener las siguientes causas:

- Nubes
- Árboles
- Edificios
- Otros módulos solares

PREGUNTAS GENERALES

5. *¿Qué es la energía solar?*

La energía solar es energía del sol transmitida a través de la radiación, en el sol se libera durante la conversión de hidrógeno en helio una energía de radiación (fusión nuclear) que está disponible en forma de luz y calor. Cada hora, el sol irradia más energía sobre la tierra de lo que consume la población mundial en un año, sin esta energía no podría existir vida en la tierra. [2]

6. *¿Qué es la electricidad solar y qué significa fotovoltaica?*

Como electricidad solar se denomina la electricidad generada en las células solares a través del efecto fotovoltaico, la fotovoltaica es la técnica con la cual se convierte energía solar en corriente continua eléctrica. [3]

7. *¿Qué se necesita para introducir electricidad solar en la red eléctrica?*

Se necesita un inversor, este aparato convierte la corriente continua en corriente alterna; la corriente continua producida por las células solares se conduce al inversor. [4]

8. *¿Cuál es la estructura de una célula solar?*

Habitualmente, las células solares consisten de placas delgadas de silicio, al contaminar el silicio puro de forma controlada con átomos ajenos se obtiene una capa conductiva negativa y una capa conductiva positiva. En la zona de transición entre las dos capas se genera un campo eléctrico. [5]

PREGUNTAS DE COMPRENSIÓN

9. *En los experimentos examinamos hay únicamente los valores de tensión. ¿Por qué el valor de corriente se mantiene siempre igual?*

No hay ningún consumidor conectado, por este motivo no fluye corriente.

10. *¿La cantidad de generación de energía eléctrica será la misma cada día del año? ¿Por qué, o por qué no? ¿Qué solución podría existir?*

La cantidad de generación de energía eléctrica no es la misma cada día, porque la radiación solar varía según las condiciones meteorológicas; se podría construir un soporte motorizado para el módulo solar que siguiera automáticamente el ángulo de irradiación óptimo del sol.

11. *¿De qué factores depende el rendimiento de electricidad ideal?*

El rendimiento de electricidad ideal depende de una multitud de factores.

- Material de las células solares (silicio monocristalino, silicio policristalino, semiconductores, etc.)
- Tamaño del módulo solar
- Condiciones en el emplazamiento (sombreado, temperatura, etc.)

12. ¿Qué magnitud física se puede calcular a través de los valores de corriente y de tensión del módulo solar?

Se puede calcular la potencia.

8. CONCLUSIONES

Que puede concluir usted con respecto a las posiciones de los ángulos a 60°, 90° y 120° con luz directa a la célula solar:

Con las mediciones a un ángulo de 60°, 90° y 120° con una distancia de 50cm, la máxima tensión se presenta a 90° con 2333,89mV, esto se debe a que la luz de la lámpara incide directamente en el módulo solar, los valores obtenidos a 60° y 120° son un menores ya que no reciben la luz perpendicularmente.

Que puede concluir usted con respecto a las posiciones de los ángulos a 60°, 90° y 120° con luz reducida a la célula solar:

Respecto a las prácticas con iluminación reducida por colocar distintos objetos que en la realidad pueden ser las nubes, árboles, techos, etc. En nuestro caso utilizamos papel, una funda plástica blanca y una lámina plástica.

Con ayuda de las gráficas podemos ver claramente qué cuando interrumpimos la intensidad de luz con la lámina de plástico obtenemos mayor voltaje, menor voltaje con la funda y papel respectivamente.

Esto ocurre de la misma manera en las tres posiciones de los ángulos, siempre obtendremos más voltaje si interrumpimos con una lámina de plástico.

Que puede concluir usted, respecto del mayor voltaje con luz interrumpida con las diferentes posiciones del módulo:

Si nos fijamos en los promedios de las mediciones observamos que a 90° tenemos mayor voltaje ya sea que utilicemos cualquier objeto como interrupción de la luz hacia el módulo, por ejemplo si sólo interrumpimos con papel en las 3 posiciones del módulo siempre obtendremos mayor voltaje a 90° seguido de las medidas a 60° y finalmente el menor voltaje con 120°.

9. BIBLIOGRAFÍA

[1] SALVADOR PONCE A., “*Células solares de silicio: fundamentos y aplicaciones*” Málaga 2008, [en línea] <<http://salvaponce.files.wordpress.com/2008/11/celulas-solares-de-silicio.pdf>>

[2] J. Gonzales, R. Calero, A. Colmenar, M. Castro, E. Collado, *Centrales de energías renovables*. España: Pearson Educación S.A, 2013

[3] G. Enríquez, *El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos*. México: Limusa, 2011.

[4]http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/04_inve_rsor/01_basico/4_inve_01.htm

[5] http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45312/componente45310.pdf

PRÁCTICA N°	TIEMPO ESTIMADO	TEMA	INTEGRANTES
2	30 min	OBTENCIÓN DE VALORES DE TENSIÓN CON EL MÓDULO SOLAR Y CALCULO DE POTENCIA	_____ _____ _____

1. OBJETIVOS

- Determinar en qué condiciones se puede obtener la máxima eficiencia con el módulo solar.
- Medir la tensión generada por el módulo con diferentes parámetros y calcular la potencia generada.
- Graficar los resultados y analizar las curvas más eficientes.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Caracterización de la célula solar.

Los parámetros más importantes de una célula solar son: la tensión de circuito abierto, la corriente de cortocircuito, el factor de forma y la potencia máxima del dispositivo. [1]

- El punto de máxima potencia:

$$P_{max} = I * V \quad (1)$$

Dónde:

- P_{max} → Potencia máxima [W]
- I → Intensidad [A]
- V → Voltaje [V]
- La corriente de corto circuito: (I_{sc}) depende de los siguientes factores:
 - Área de la célula solar: la corriente es proporcional a esta. Por ello, para poder comparar resultados de células de distintos tamaños se utiliza el término densidad de corriente de cortocircuito, J_{sc} , medida en mA/cm^2
 - Número de fotones que inciden en la célula solar: la corriente también es proporcional a este valor.
 - Espectro de la luz incidente: interesa que las longitudes de onda que componen la luz sean aceptadas por la célula solar.

- Propiedades ópticas de la célula solar: texturado, metalización frontal y capa antireflectante
- Tiempo de vida y recombinación superficial: a mayor tiempo de vida y menor recombinación superficial, mayor es la corriente producida.



Figura 1: Módulo solar.

- La tensión de circuito abierto se expresa como:

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_o} + 1 \right) \quad (2)$$

Dónde:

- n → factor de idealidad (1,2)
- k → constante de Boltzmann ($1,38 * 10^{-23} \text{ J/K}$)
- T → temperatura absoluta de la célula [°K]
- q → la carga del electrón
- I_L → la corriente de corto circuito
- I_o → la corriente inversa de saturación

$$\frac{kT}{q} \approx 23 \text{ mV a temperatura ambiente}$$

- El factor de forma relaciona el punto de máxima potencia con la tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito. Se define como:

$$FF = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (3)$$

Dónde:

- FF → factor de forma
- V_{mp} → Voltaje de máxima potencia [V]

- I_{mp} → Intensidad de máxima potencia [A]
- V_{OC} → Tensión de circuito abierto [V]
- I_{SC} → Corriente de corto circuito [A]
- k → constante de Boltzmann ($1,38 * 10^{-23} J/K$)

Nos da una idea de cómo de que tan cuadrada es la curva $I * V$. Idealmente $FF = 1$. En la realidad, su valor suele estar próximo a 0,80.

- La eficiencia es el parámetro más utilizado para realizar la clasificación de las células solares, así como para compararlas entre sí. Se define como la relación entre la energía producida por la célula solar y la energía incidente procedente de la luz. [1]

$$\eta = \frac{V_{OC} * I_{SC} * FF}{P_{in}} = \frac{P_{max}}{P_{in}} \quad (4)$$

Dónde:

- η → Eficiencia %
- P_{in} → Energía incidente [P_{in}]

Célula tipo Perl

Con las siglas PERL se denotan a las células que tienen pasivadas las caras frontal y posterior con una capa de óxido de silicio de alta calidad y que, con el fin de mejorar los contactos, poseen difusiones localizadas muy dopadas bajo los mismos (PERL: Passivated Emitter with rear locally diffused cell). [1]

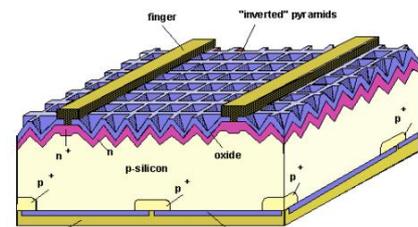


Figura 2: Célula tipo Perl [1]

Características:

Área (cm^2)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	η (%)
80	42,2	0,828	24,7

Tabla 1.

3. ESQUEMA

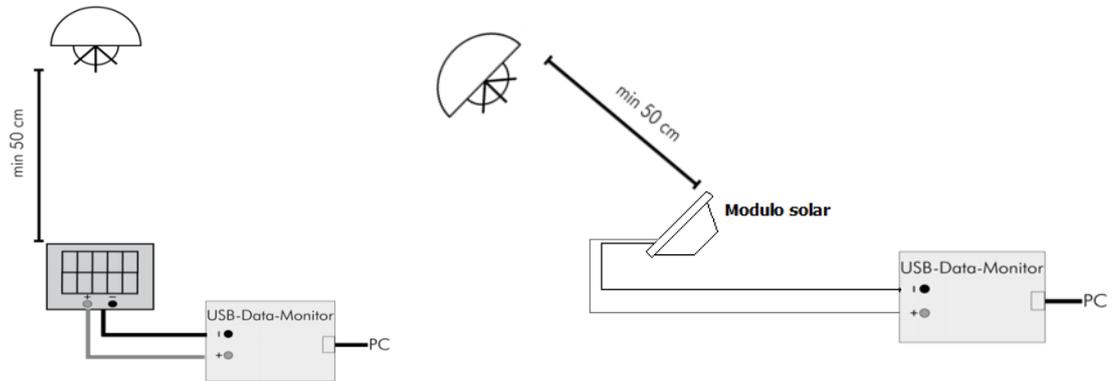


Figura 3: Esquema

4. MATERIALES

1 módulo solar	1 lámpara (mín. 75 W)
USB-Data Monitor	2 cables: 1 negro, 1 rojo
Cable USB	1 cinta métrica
PC con software instalado	
Base magnética	Objetos para oscurecer: lámina, papel

Tabla2.

INSTRUCCIONES

- Arme la configuración de ensayo según lo mostrado en la figura 3.
- Ajuste la distancia entre la lámpara y el módulo solar a 50 cm. El ángulo de incidencia debería ser de aprox. 90° (en la lámpara hay una señal que indica los 90°).
- Inicie el software y seleccione la pestaña *MÓDULO SOLAR*.
- Conmute el modo de operación a *MODO AUTOMÁTICO*.
- Encienda la lámpara.
- Modifique manualmente el ángulo del módulo solar a 120° y 60°.
- La distancia frente al módulo solar se tiene que mantener siempre igual. Preste atención a que el pie magnético permanezca siempre en el mismo punto
- Registre los valores de corriente y tensión en una tabla y calcule la potencia
- Grafique la curva característica de potencia y tensión
- En el Software, haga clic en GRAFICO DE POTENCIA y realice la comparación con la curva característica de potencia trazada.
- Tome foto de las prácticas.

5. DESARROLLO

POSICIONES DEL MÓDULO SOLAR RESPECTO A LA LÁMPARA.

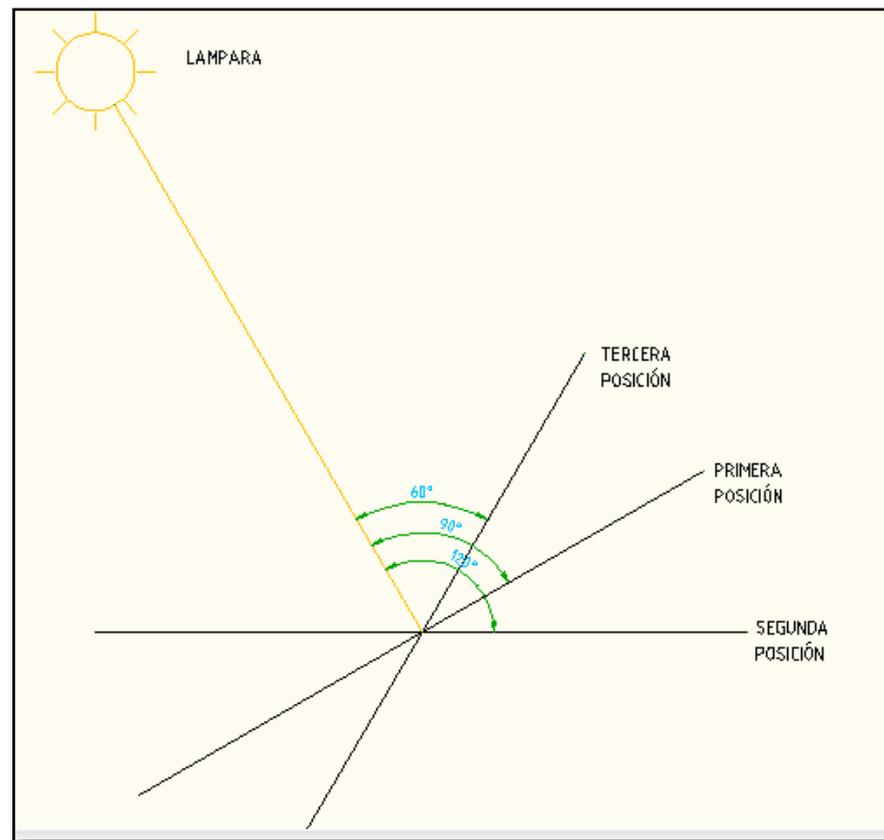


FIGURA 4: Posición del módulo solar

PRIMERA POSICIÓN:

En esta posición el módulo solar se encuentra a 90° respecto a la dirección de la luz de la lámpara

SEGUNDA POSICIÓN:

En esta posición el módulo solar se encuentra recibiendo la luz de la lámpara a un ángulo de 120°

TERCERA POSICIÓN:

En esta posición el módulo solar se encuentra recibiendo la luz de la lámpara a un ángulo de 60°

LUZ DIRECTA

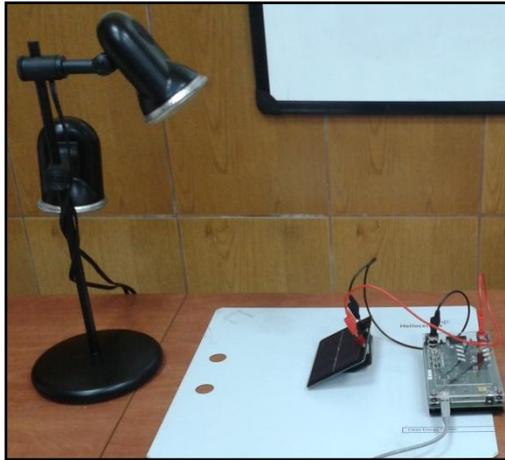


FIGURA 5: Foto del módulo iluminado con luz directa

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES OBTENIDOS DEL SOFTWARE CON LUZ DIRECTA A 90°			
N° de mediciones	Tensión [mV]	Corriente [mA]	Potencia [W]
7	26,21	518,01	0,01357704
6	1737,23	499,57	0,86786799
5	1904,81	400,03	0,76198114
4	1978,71	300,48	0,59456278
3	2042,73	199,09	0,40668712
2	2100,31	99,55	0,20908586
1	2150,16	0	0

Tabla 3: Datos obtenidos del software

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE TENSIÓN [mV] OBTENIDOS DEL SOFTWARE CON LUZ DIRECTA A 120°			
N° de mediciones	Tensión [mV]	Corriente [mA]	Potencia [W]
7	18,05	403,71	0,00728697
6	17,62	396,34	0,00698351
5	1831,76	400,03	0,73275895
4	2128,24	300,48	0,63949356
3	2215,9	200,94	0,44526295
2	2279,49	101,39	0,23111749
1	2332,77	0	0

Tabla 4: Datos obtenidos del software

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES OBTENIDOS DEL SOFTWARE CON LUZ DIRECTA A 60°

N° de mediciones	Tensión [mV]	Corriente [mA]	Potencia [W]
7	22,34	466,39	0,01041915
6	22,34	462,7	0,01033672
5	2071,95	398,18	0,82500905
4	2151,87	300,48	0,6465939
3	2223,63	199,09	0,4427025
2	2278,2	101,39	0,2309867
1	2330,62	0	0

Tabla 5: Datos obtenidos del software

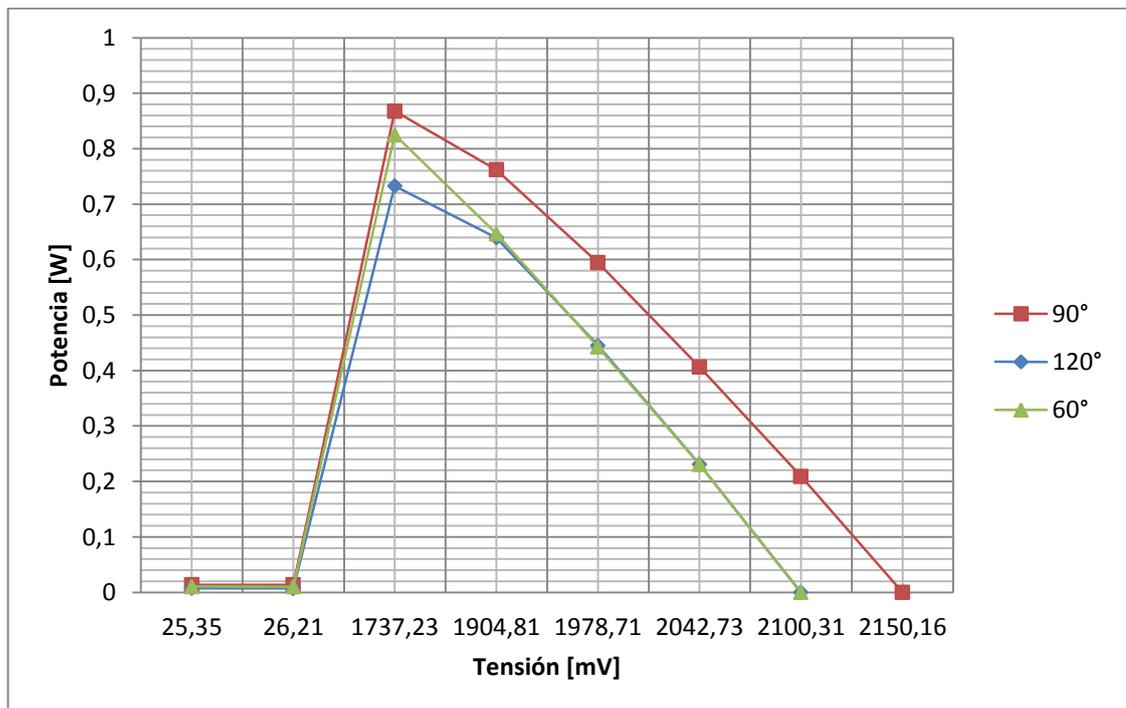


Gráfico 1: Curva de potencia máxima con luz directa

INTENSIDAD LUMÍNICA REDUCIDA CON LÁMINA DE PLÁSTICO

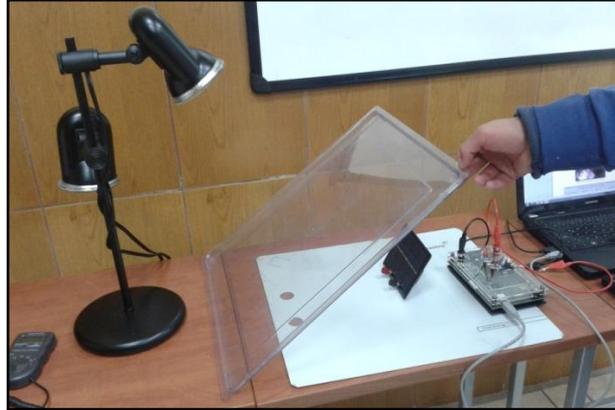


FIGURA 6: Foto con intensidad lumínica reducida.

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES OBTENIDOS DEL SOFTWARE CON LÁMINA DE PLÁSTICO A 90°			
N° de mediciones	Tensión [mV]	Corriente [mA]	Potencia [W]
6	12,03	329,98	0,00396966
5	12,46	335,51	0,00418046
4	2039,3	300,48	0,61276886
3	2155,31	200,94	0,43308799
2	2221,05	101,39	0,22519226
1	2279,49	0	0

Tabla 6: Datos obtenidos del software

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES OBTENIDOS DEL SOFTWARE CON LÁMINA DE PLÁSTICO A 120°			
N° de mediciones	Tensión [mV]	Corriente [mA]	Potencia [W]
6	7,73	274,67	0,0021232
5	8,59	272,83	0,00234361
4	7,73	272,83	0,00210898
3	2059,06	199,09	0,40993826
2	2141,13	99,55	0,21314949
1	2203,44	0	0

Tabla 7: Datos obtenidos del software

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES OBTENIDOS DEL SOFTWARE CON LÁMINA DE PLÁSTICO A 60°

N° de mediciones	Tensión [mV]	Corriente [mA]	Potencia [W]
6	10,31	300,48	0,00309795
5	10,31	296,79	0,00305991
4	1768,59	300,48	0,53142592
3	2068,09	200,94	0,41556201
2	2135,55	99,55	0,212594
1	2190,12	0	0

Tabla 8: Datos obtenidos del software

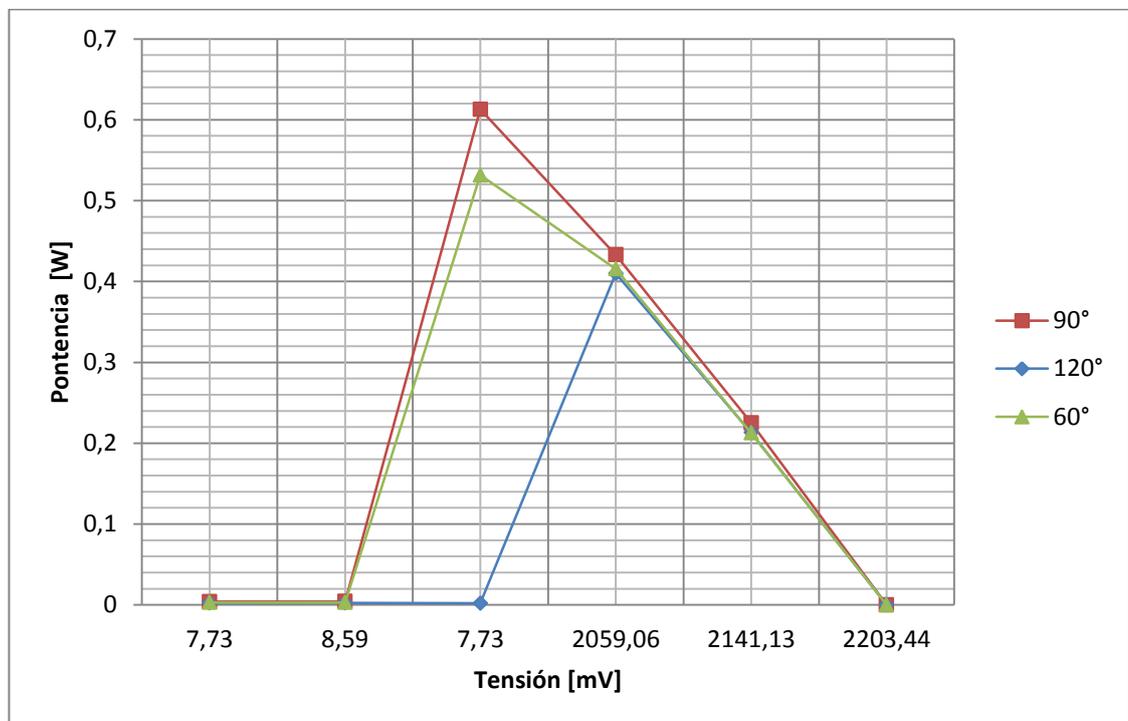


Gráfico 2: curva de potencia máxima con luz reducida

6. CÁLCULOS

Las células solares son de tipo PERL y de la cual se tienen los siguientes datos:

Área (cm ²)	Jsc (mA/cm ²)	Voc (mV)	FF	η(%)
----	42,2	---	0,828	24,7

Tabla 9

¿Cuál es la corriente de corto circuito I_{SC} si la superficie activa de nuestra célula solar es de $8 \times 10^{-3} m^2$?

$$I_{SC} = 42,2 \text{ (mA/cm}^2\text{)}$$

$$A = 8 \times 10^{-3} m^2 = 80 \text{ cm}^2$$

$$I_{SC} = 42,2 \frac{\text{mA}}{\text{cm}^2} * 80 \text{ cm}^2$$

$$I_{SC} = 3376 \text{ mA}$$

¿Cuál es la tensión de circuito abierto V_{OC} teniendo en cuenta que el voltaje máximo es de 2 V y la corriente máxima es de 600mA?

$$FF = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{V_{oc} * I_{sc}}$$

$$V_{oc} = \frac{V_{mp} * I_{mp}}{FF * I_{sc}}$$

$$V_{oc} = \frac{2 * 0,6}{0,828 * 3,376}$$

$$V_{oc} = 0,4292 \text{ V}$$

Encuentre la eficiencia del módulo solar con las medidas máximas de potencia a 90° , 120° y 60° con y sin interrupción de luz. Para ello calcule la potencia que ingresa al módulo.

Potencia de Ingreso al módulo:

$$P_{in}(W) = Ev(\text{lux}) * A(m^2)/n(\text{lm/W})$$

$$\text{Intensidad con luz directa} = Ev = 34600 \text{ lux}$$

$$\text{Intensidad con luz reducida} = Ev = 30500 \text{ lux}$$

$$\text{Área} = A = 0,008 m^2$$

$$n = 20 \text{ lm/W}$$

$$\text{Con luz directa: } P_{in} = \frac{34600 * 0,008}{20}$$

$$P_{in} = 13,84 \text{ W}$$

$$\text{Con luz reducida: } P_{in} = \frac{30500 * 0,008}{20}$$

$$P_{in} = 12,2 \text{ W}$$

Eficiencia con luz directa:

A 90°:

$$\eta_{90} = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{0,867W}{13,84W} = 0,0626 = 6,3\%$$

A 120°:

$$\eta_{120} = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{0,732W}{13,84W} = 0,0529 = 5,3\%$$

A 60°:

$$\eta_{60} = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{0,825W}{13,84W} = 0,0596 = 6\%$$

Eficiencia con luz reducida:

A 90°:

$$\eta_{90} = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{0,612W}{12,2W} = 0,0501 = 5\%$$

A 120°:

$$\eta_{120} = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{0,409W}{12,2W} = 0,0335 = 3,4\%$$

A 60°:

$$\eta_{60} = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{0,531W}{12,2W} = 0,0435 = 4,4\%$$

7. CUESTIONARIO

PREGUNTAS SOBRE EL EXPERIMENTO

1. *¿Qué es una curva característica?*

- Una curva característica es una representación gráfica de dos magnitudes físicas interdependientes, esta representación es característica para un determinado componente.

- La curva característica se representa como diagrama en un sistema de coordenadas bidimensional.
- 2. ***¿Cómo se puede calcular el MPP (Maximum Power Point - punto de máxima potencia) del módulo solar?***
 - Con la ayuda de la curva característica de potencia y tensión.
 - A partir del producto de los valores medidos de tensión y de intensidad se puede determinar el MPP.
 - El rectángulo con la mayor superficie debajo de la curva característica de corriente y tensión corresponde a la potencia máxima, los valores de corriente y de tensión correspondientes indican el MPP del módulo solar.
- 3. ***¿Qué representación gráfica es la más adecuada para leer el MPP?***

La curva característica de potencia.
- 4. ***¿El MPP es constante? ¿De qué depende el MPP?***
 - El MPP no es constante.
 - Principalmente de la intensidad lumínica.

PREGUNTAS GENERALES

- 5. ***¿Cuáles son las ventajas de la energía solar?***
 - El sol es la fuente de energía más grande y más segura.
 - La energía solar es una energía limpia y gratuita.
 - No se generan gastos de transporte y, en consecuencia, no hay grandes pérdidas de línea.
 - Las instalaciones solares están técnicamente perfeccionadas, tienen una larga vida útil y representan una plusvalía para un edificio. [3]
- 6. ***¿En qué zonas es especialmente conveniente el uso de la energía solar?***

Las zonas con una irradiación solar elevada (un gran número de horas de sol y un ángulo de irradiación máximo, como por ejemplo como en el desierto del Sáhara).
- 7. ***¿Cuáles son las desventajas de la célula solar?***
 - La energía solar depende de las condiciones meteorológicas.
 - La energía solar sólo se puede utilizar durante el día.
 - Para los módulos solares se necesitan grandes superficies (excepción: en el tejado de una casa, dado que esta superficie no se utiliza para otros fines).
 - La fabricación de módulos solares es cara. [4]

8. ¿A quién se considera como el inventor de la célula solar?

- Alexandre Edmund Becquerel observó que una batería que se encuentra al sol tiene una mayor potencia que una que se encuentra en la oscuridad.
- El efecto fotovoltaico fue explicado en el año 1905 por Albert Einstein mediante la teoría cuántica, ésta indica que la luz es, al mismo tiempo, partículas y una onda. Si estas partículas tienen una velocidad suficientemente alta e inciden en un metal, pueden separar electrones libres de la matriz metálica y producir un flujo de electrones. [5]

9. ¿Crea una célula solar corriente continua o alterna?

Las células solares generan corriente alterna. [6]

10. ¿Cómo se denomina el componente que convierte corriente continua en corriente alterna?

Este componente se denomina como inversor. [7]

11. ¿Qué tipos de células solares existen? ¿Cuáles ofrecen el mayor rendimiento? ¿Cuáles son las más económicas?

Células solares monocristalinas, policristalinas y de película delgada.

Las células solares monocristalinas tienen el mayor rendimiento (16-18 %), pero su fabricación es la más cara.

El material más extendido para las células solares de película delgada es el silicio amorfo. Las células solares amorfas son las más económicas, pero sólo tienen un rendimiento de un 6-8 %. [8]

PREGUNTAS DE COMPRENSIÓN

12. Si se destruye una célula solar en un conjunto de células solares conectadas en serie, ¿se interrumpe el flujo de la corriente?

Sí; si la célula solar destruida ya no puede conducir corriente, todo el circuito queda paralizado.

8. CONCLUSIONES

Que puede concluir usted con respecto a la potencia y posiciones de los ángulos a 60°, 90° y 120° con luz directa a la célula solar con distancia de 50cm entre célula y lámpara:

Con las mediciones a un ángulo de 60°, 90° y 120° con una distancia de 50cm, la máxima potencia se presenta a 90° con 0,867867991 W, esto se debe a que la luz de la lámpara incide

directamente en el módulo solar, los valores obtenidos a 60° y 120° son un poco menores ya que no reciben la luz perpendicularmente.

Que diferencia existe entre el modo manual y el modo automático al registrar datos de Tensión, Corriente y Potencia.

En el modo manual no registramos corriente debido a que no se aplica una carga interna del software, mientras en el modo automático si registramos corriente debido a que el USB-data monitor nos da la carga y por ende se puede calcular la potencia.

Que pasa con los valores de corriente si colocamos papel, funda y lamina de plástico transparente

Los valores que registra el software de corriente con papel y funda son cero debido a que el índice de refracción y reflexión son mayores que cuando se utiliza lámina de plástico y no permite pasar intensidad lumínica por lo que en software no registra datos de corriente y por ende no podemos calcular la potencia.

Cuando utilizamos lamina de plástico registra normalmente la corriente debido a que la intensidad logra traspasar el obstáculo (lamina de plástico).

Concluya acerca de la máxima eficiencia con intensidad lumínica reducida y directa.

La máxima eficiencia se da colocando el modulo solar a 90° con un valor de 6.3% con luz directa, seguida en las posiciones del módulo a 60° con un valor de 6% y 120° con un valor de 5.3% descendiendo su eficiencia.

Con respecto con luz reducida su máxima eficiencia se da igualmente con una posición del módulo de 90° con un valor de 5%, seguidos de sus otras posiciones de 60° y 120° con valores de 4.4% y 3.4% correspondientemente.

Concluya a cerca del cálculo de la potencia de ingreso al módulo solar.

Para calcular la potencia de ingreso al módulo necesitamos medir la intensidad de luz mediante un luxómetro que viene con el equipo, esta cantidad de luxes se multiplica por el área del módulo y se divide entre un factor propio de cada elemento que proporciona la luz, en nuestro caso es una lámpara halógena y su valor es de 20 lm/W (lúmenes por Watts).

9. BIBLIOGRAFÍA

[1] <http://salvaponce.files.wordpress.com/2008/11/celulas-solares-de-silicio.pdf>

[2] <http://www.rapidtables.com/calc/light/lux-to-watt-calculator.htm>

[3] G. Enríquez, “El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos”. México: Limusa, 2011.

[4] <http://twenergy.com/a/desventajas-de-la-energia-solar-528>

[5] <http://www.hormigasolar.com/una-breve-historia-de-los-paneles-solares/>

[6] J. Gonzales, R. Calero, A. Colmenar, M. Castro, E. Collado, *Centrales de energías renovables*. España: Pearson Educación S.A, 2013

[7] http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/04_inve rsor/01_basico/4_inve_01.htm

[8] <http://www.isolari.es/tipos-de-placas-fotovoltaicas>

CAPITULO II

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE SISTEMAS EÓLICOS UTILIZANDO CLEAN ENERGY TRAINER

2.1 Introducción.

En este capítulo se analizará la energía eólica y la manera en la que podemos cambiar las variables para obtener diferentes valores de tensión y corriente, en el equipo de estudio.

La Energía eólica es aquella que proviene de movimientos de masas de aire, en otras palabras del viento. La energía solar que ingresa en la tierra está entre 1 al 2 %, esta es la razón por la cual la energía eólica es considerada una forma indirecta de la energía que proviene del sol. El viento, considerándolo como recurso energético y desde el punto de vista de su disponibilidad como suministro, tiene características específicas, el viento es una fuente con variaciones temporales, a grandes y pequeñas escala de tiempo. [5] [6] [7].

Se denomina máquina o aerogenerador eólico a cualquier dispositivo que es accionado por el viento; en el mundo existen dos tipos de aerogenerador utilizados estos son: aerogeneradores de eje horizontal y de eje vertical. [8]

Los aerogeneradores de eje horizontal, se caracterizan porque su eje rotacional, es paralelo al suelo mientras que los aerogeneradores de eje vertical se encuentran perpendicular al suelo. Entre los aerogeneradores de eje horizontal se encuentran los tipo “A barlovento y A Sotavento”, (Figura 2.1 y 2.2). [9] [10]

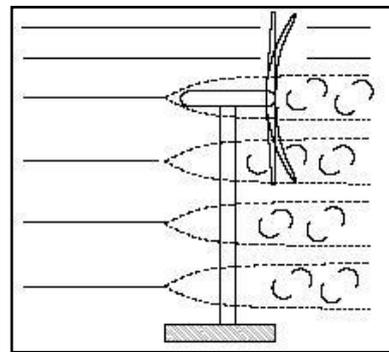
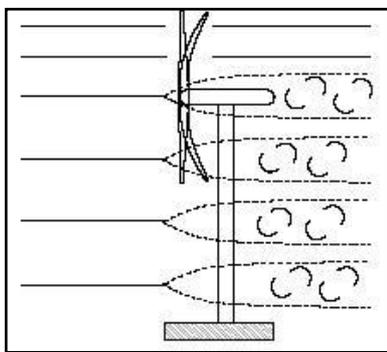


Figura 2. 1: Aerogenerador Tipo Sotavento. [10] Figura 2. 2: Aerogenerador Tipo Barlovento. [10]

Dentro de esta categoría de aerogeneradores de eje horizontal se clasifican según el número de palas. Entre estos son: Monopala, Bipala, Tripala, Multipala, Actualmente los más usados son los tripala debido a que son más eficientes.

Entre los aerogeneradores de eje vertical se encuentran los tipo: Darrieus, Savonius, Darrieus tipo H y Windside en las siguientes figuras se observan los tipos de aerogeneradores de eje vertical. [10].

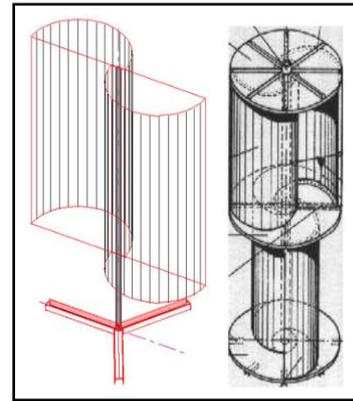
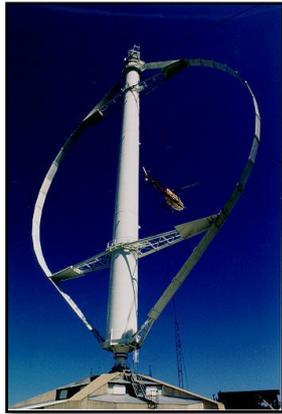


Figura 2. 3: Aerogenerador Tipo Darrieus. [11] Figura 2. 4: Aerogenerador Tipo Savonius. [11]

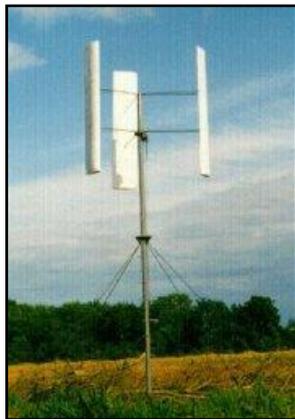


Figura 2. 5: Aerogenerador Tipo Giromill. [10] Figura 2. 6: Aerogenerador Tipo Windside. [10]

Podemos ver una comparación de rendimientos de los varios tipos de aerogeneradores de eje vertical y de eje horizontal (Figura 2.7), como se observa los aerogeneradores de eje horizontal (bipala y tripala) poseen un rendimiento mucho mayor y una aproximación al rendimiento ideal, mientras que los de eje vertical como el rotor Savonius o el rotor Darrieux poseen rendimientos mucho más bajos que los de eje horizontal. [12]

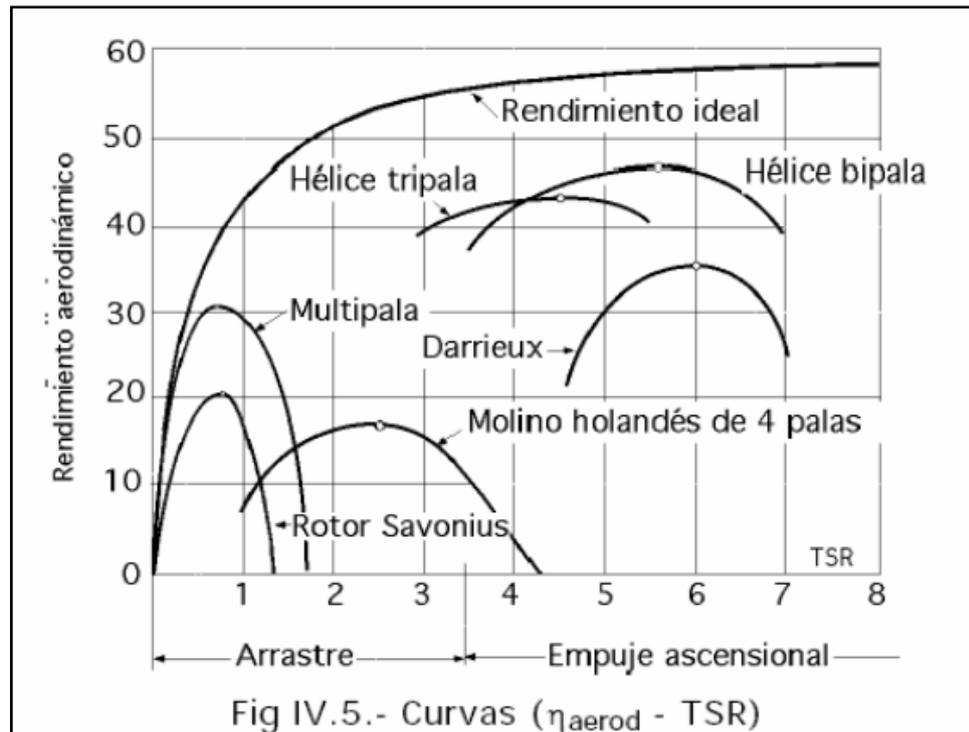


Figura 2. 7: Rendimiento aerodinámico de varios aerogeneradores [12]

2.2 Componentes del equipo CLEAN ENERGY TRAINER

Para el desarrollo de las prácticas eólicas a continuación de describirán los componentes del equipo:

- A. Anemómetro
- B. Generador eólico
 - a. Palas
 - b. Rotor
 - c. Soporte o base
- C. Ventilador
- D. USB-Data Monitor

- E. Cable USB
- F. PC o laptop con software instalado
- G. Cables: negro, rojo

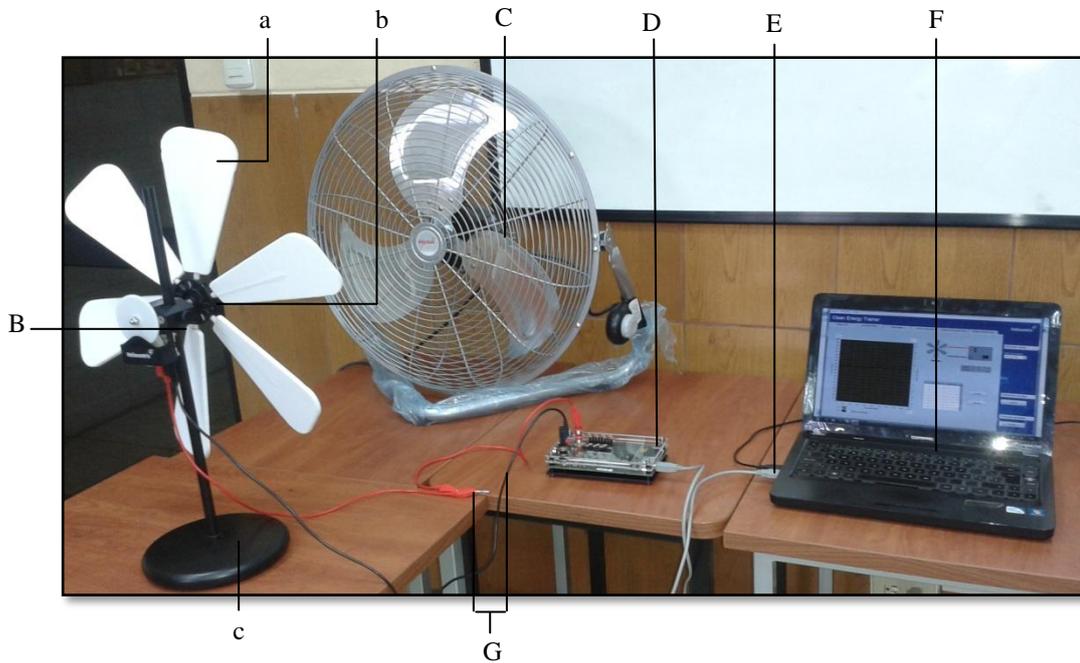


Figura 2. 8: Sistema Eólico

2.2.1 Anemómetro

El anemómetro es un mecanismo que mide la velocidad del viento, consta de una hélice helicoidal, tiene acoplado al eje un diminuto generador de impulsos eléctricos, que son contados por unidad de tiempo por el contador electrónico a baterías, y mostrados en pantalla ya calibrados a velocidad de viento, los datos que registran pueden ser calibrados en km/h, m/s, su apagado es automático, (Figura2.9).

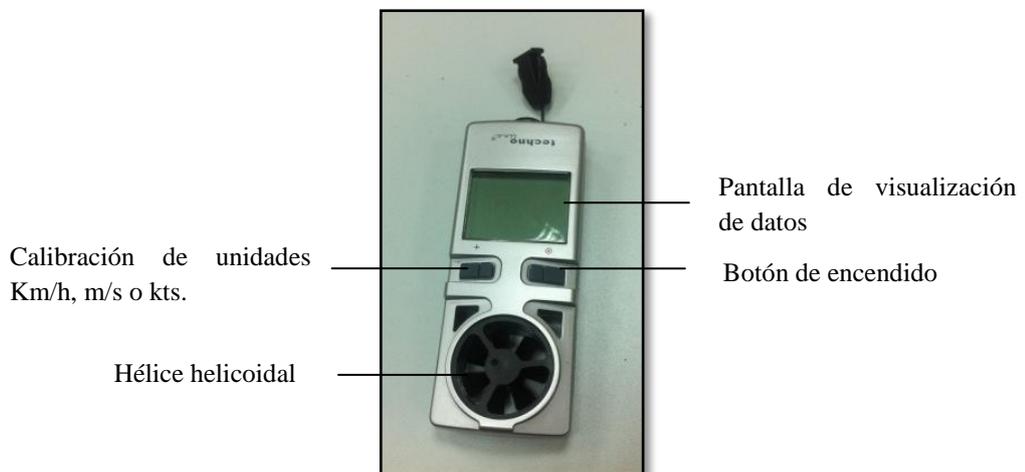


Figura 2. 9: Anemómetro

2.2.2 Generador eólico

Se utilizará para la generación de energía eléctrica, este sistema está conformado por las palas, rotor y base o soporte, (Figura 2.10).

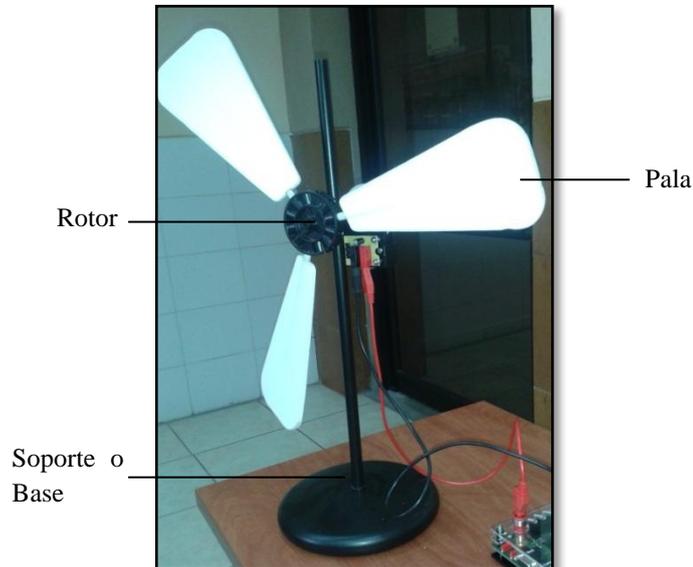


Figura 2. 10: Generador Eólico

- Palas

Las palas son las encargadas de capturar el viento y de transmitir la potencia al buje, las palas están construidas de espuma flex, forradas de papel y un eje de madera en su interior que sirve para sujetar al rotor (Figura 2.11).



Figura 2. 11: Pala

- Rotor

El rotor está situado en la parte frontal del aerogenerador, está construido de polímero con dos partes móviles, que al girar contrariamente por su sistema de tornillo sin fin en el eje se dividen en dos y en su interior se colocan las palas, comunicando a un eje de acero inoxidable que transmite el giro a un sistema de

engranajes y conectado a un generador de energía, en el cual se conectarán dos cables para transmitir la energía eléctrica generada; la altura y la dirección del aerogenerador son regulables por medio de un tornillo que se ajusta al soporte (Figura 2.12).

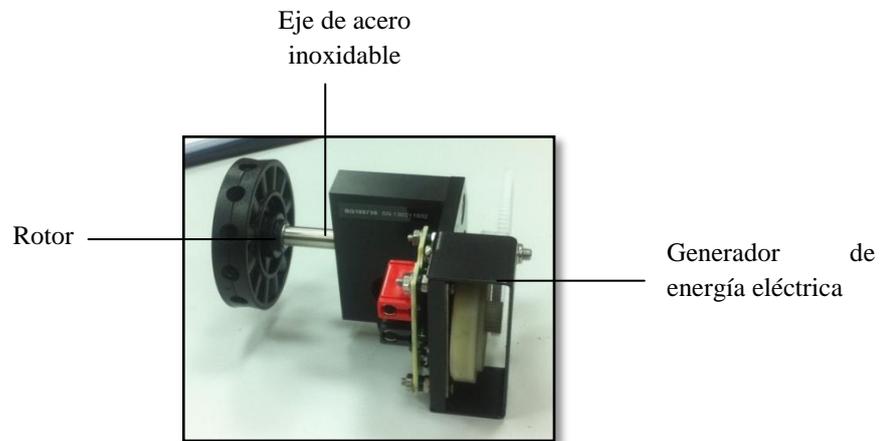


Figura 2. 12: Rotor

- Soporte.

Es el encargado de sostener al aerogenerador, está construido de dos partes: un eje de metal cilíndrico que se une a la base por un sistema de rosca, y la base, que en su interior tiene una masa de concreto que ayuda a darle estabilidad (Figura 2.13).

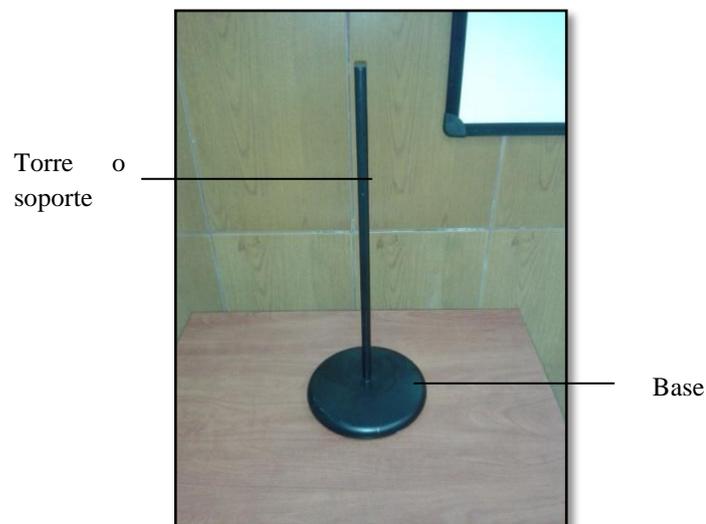


Figura 2. 13: Base

2.2.3 Ventilador

El ventilador se utilizará para producir corrientes de aire, este mecanismo consta de tres aspas tipo axial, funciona con 110 V y tiene dos tipos de velocidades de 3.9 m/s y 5.4 m/s (Figura 2.14).

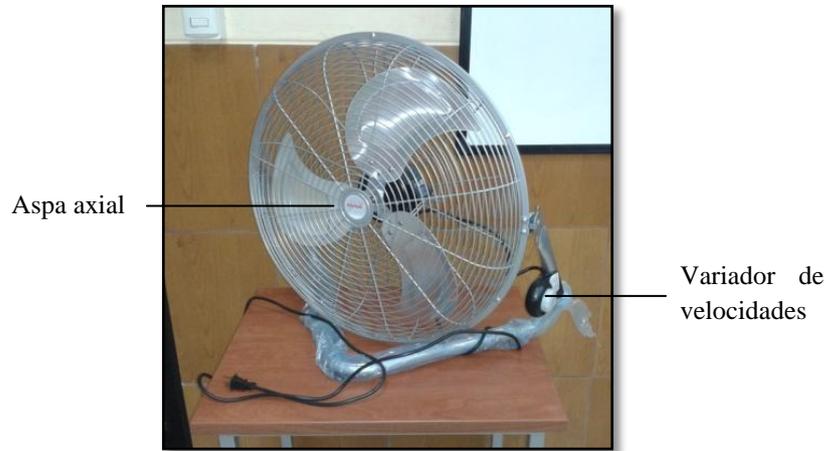


Figura 2. 14: Ventilador

2.2.4 USB-Data Monitor

El Clean Energy Monitor se puede utilizar como aparato de medición, simulador de fuente, así como fuente de tensión continua, es el medio de comunicación entre el generador eólico y el computador, posee una carga externa de 6V, un cable USB con conexión al PC y dos terminales como periféricos de entrada y salida de datos (Figura 2.15).

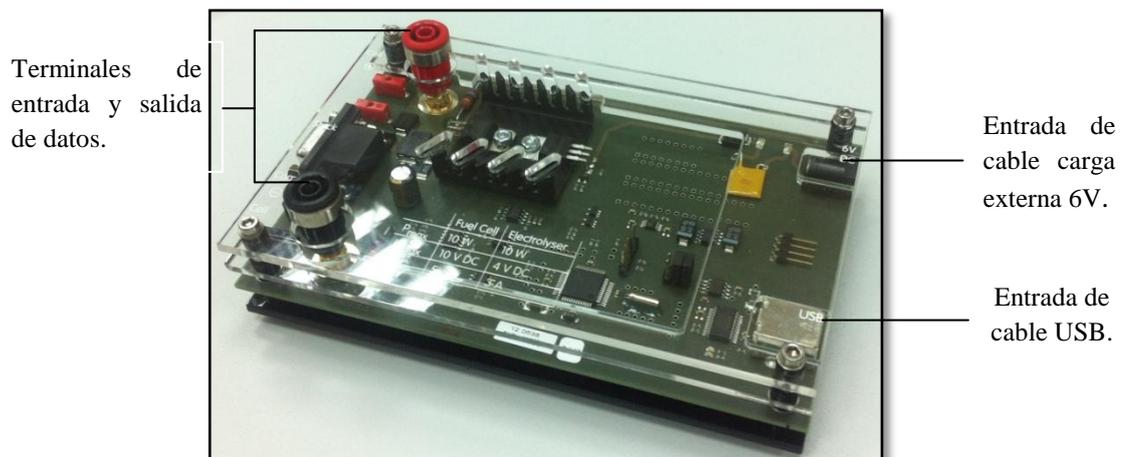


Figura 2. 15: USB-Data monitor

2.2.5 Cables rojos y negros

Los cables (bananas) se utilizan para transmitir la energía eléctrica generada del aerogenerador al USB-Data monitor (Figura 2.16).



Figura 2. 16: Cables Rojos y Negros

2.3 Variables del sistema.

Las variables a considerar para el sistema eólico dependen de:

- Posición de la aspa
- Numero de aspas
- Velocidad del viento

2.3.1 Posición de la aspa.

Es una variable que influye en la velocidad de giro el rotor, mientras se encuentre en una posición optima las aspas recibirán una mayor cantidad de masas de aire permitiendo girar el rotor de forma constante.

Para el sistema eólico que se va analizar se determinó que el número de posiciones son ocho (Tabla 2.1).

Posición	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ángulo	0°	22,5°	45°	67,5°	90°	112,5°	135°	157,5	180

Tabla 2. 1: Posiciones de las aspas

2.3.2 Número de aspas.

Otra variable a considerar es el número de aspas ya que por medio de esta selección se puede clasificar el tipo de aerogenerador de eje horizontal para sus respectivas aplicaciones. Además es importante porque el número de aspas altera factores de costos, peso del aerogenerador, inercia, entonces se tratará de utilizar la menor cantidad de aspas en función de una buena eficiencia. Para el sistema eólico que

analizaremos las aspas se podrán armar de: dos, tres, cuatro y seis aspas, para sus respectivos análisis.

2.3.2 Velocidad del viento.

Esta variable es el factor principal para los sistemas eólicos ya que dependen de ella para hacer girar al rotor, mientras exista velocidades de viento elevadas el aerogenerador va a producir suficiente energía eléctrica por largos periodos, de lo contrario con velocidades bajas el rotor no giraría.

2.4 Manejo del Software.

En esta sección analizaremos el uso del software para el análisis de tensión y corriente para un aerogenerador de eje horizontal.

Pasos para el uso del software, sistema generador eólico.

- a) Conectamos el USB- data monitor a la Pc., (Figura 2.17).



Figura 2. 17: Conexión del USB-Monitor

- b) Iniciamos el software Clean Energy Trainer
- c) Esperamos que el software reconozca el USB-data monitor
- d) En la pantalla se visualizara una ventana el cual nos indica que debemos juntar las bananas provocando cortocircuito y pulsamos OK, (Figura 2.18-2.19).



Figura 2. 18: Conexión en cortocircuito del software

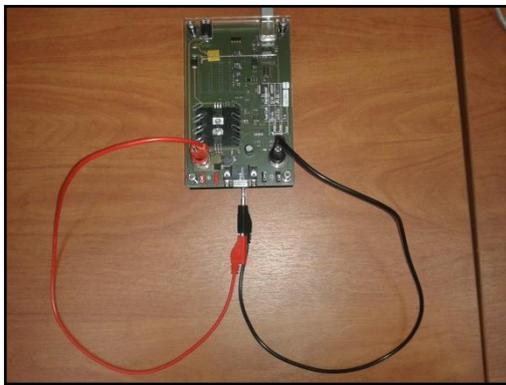


Figura 2. 19: Conexión en cortocircuito real

e) Una vez calibrado se pulsa en OK, (Figura 2.20).



Figura 2. 20: Calibración de cortocircuito

f) En la parte superior del software se indicara el tipo de sistema a analizar y se selecciona la pestaña Generador eólico, (Figura 2.21).



Figura 2. 21: Selección de sistema

- g) Se visualizará una ventana que dice conectar el generador eólico, (Figura 2.22).

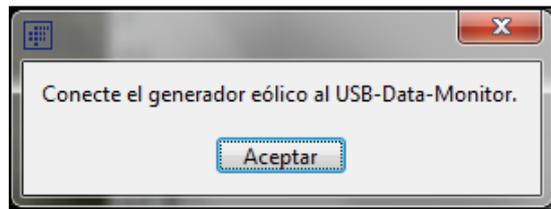


Figura 2. 22: Mensaje de conexión del generador eólico

- h) Se procede a conectar el generador eólico, (Figura 2.23).



Figura 2. 23: Conexión del aerogenerador eólico al USB-data monitor

- i) En la parte derecha se tiene una opción donde se indica el modo de operación, en la cual se puede seleccionar modo manual o automático y a su vez podemos calibrar la corriente entre un rango de 0 a 5000 mA, (Figura 2.24).

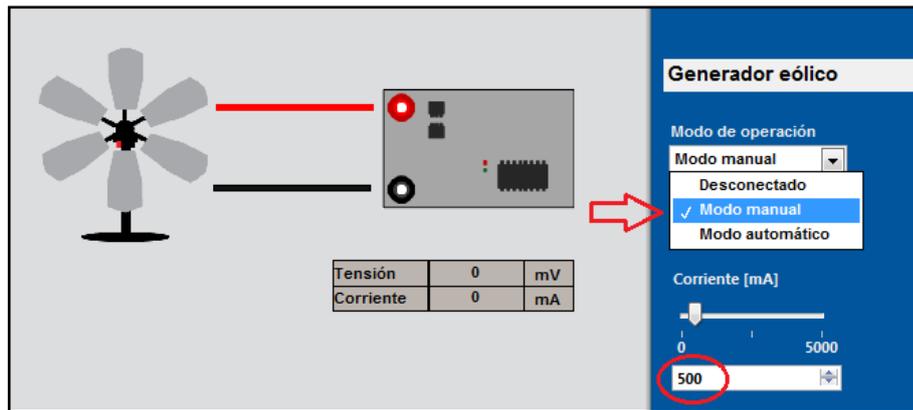


Figura 2. 24: Selección de modo de operación del sistema

- j) Una vez seleccionada la operación manual o automático el software registra datos en el cuadro de corriente, tensión y por medio de las opción insertar se procede a guardar los datos, (Figura 2.25).

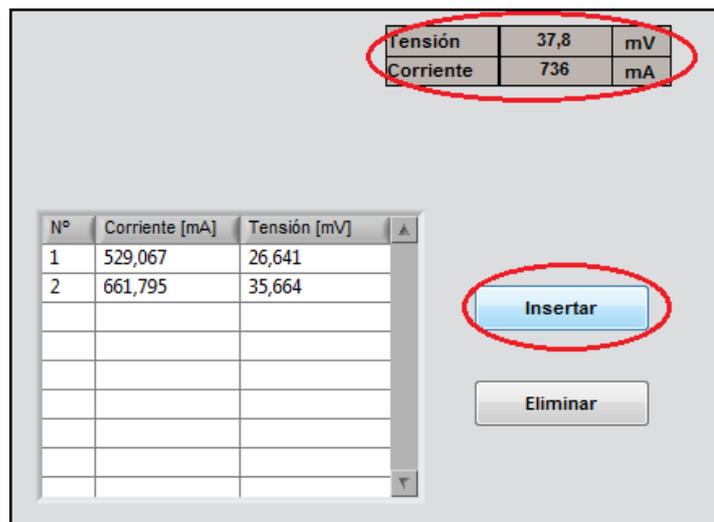


Figura 2. 25: Registro de datos de corriente y tensión

- k) Para graficar la curva de potencia se selecciona en la opción “*gráfico de potencia*”, (figura 2.26)

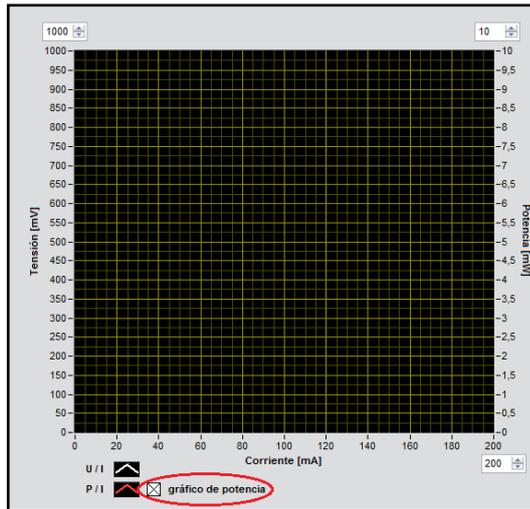


Figura 2. 26: Gráfico de curva de potencia

- 1) Una vez registrados e insertados los datos de corriente y tensión se pulsa en la opción guardar, de esta manera los datos se guardan en un archivo que posteriormente se abre con Microsoft Excel, finalmente se pulsa la opción terminar para cerrar el programa Clean Energy Trainer, (Figura 2.27).

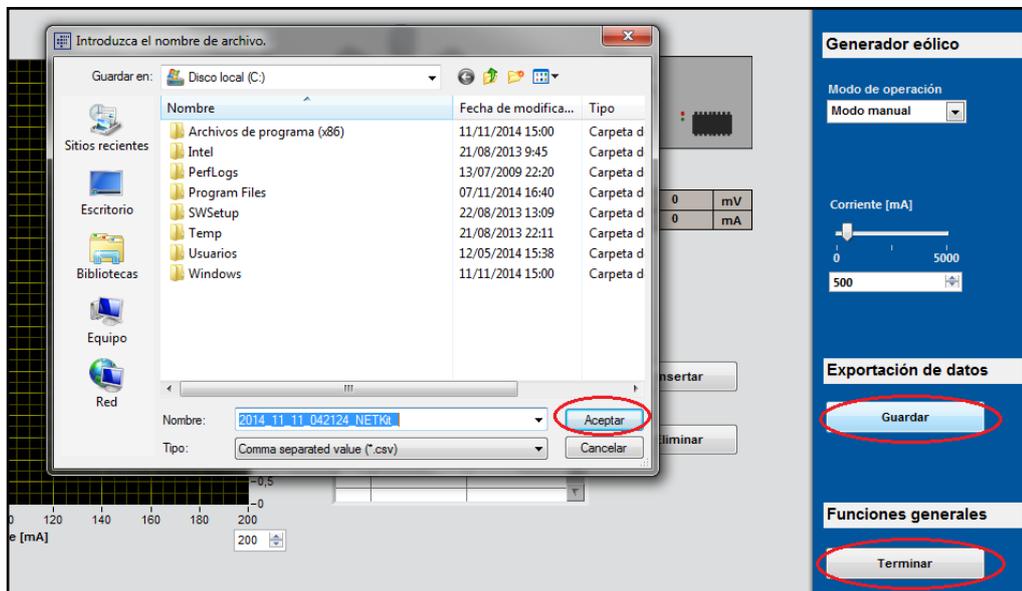


Figura 2. 27: Guardado de registro de datos

2.5 Prácticas con el equipo

El desarrollo presentado a continuación está realizado con prácticas reales en el equipo, cuyo esquema se muestra a continuación:

- Objetivos.
- Fundamento teórico.
- Esquema.
- Materiales a utilizar en las prácticas.
- Instrucciones de cómo usar el equipo.
- Desarrollo; que contiene fotos, gráficas, cálculos y tablas para la comparación de resultados.
- Cuestionarios; que contiene preguntas sobre el experimento, generales y de comprensión.
- Conclusiones y bibliografías.

Estas prácticas pertenecen al docente o instructor de prácticas y cada ítem antes mencionado está resuelto, de manera que los valores sirvan de guía para los estudiantes al momento de realizar sus prácticas.

PRÁCTICA N°	TIEMPO ESTIMADO	TEMA	INTEGRANTES
1	30 min	OBTENCIÓN DE VALORES DE TENSIÓN CON EL GENERADOR EÓLICO	_____ _____ _____

1. OBJETIVOS

- Determinar en qué condiciones se puede obtener la máxima tensión con el generador eólico.
- Medir la tensión generada por el módulo con las aspas en diferentes posiciones y variando el número de aspas.
- Identificar los diferentes parámetros que nos dan máximos valores de tensión y graficar resultados.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Energía Eólica

La energía eólica es la energía que se puede lograr del movimiento que produce el viento al interaccionar con las palas de un aerogenerador. Esta energía, que sigue en proceso de desarrollo, nace como respuesta a una mayor demanda del consumo energético, la necesidad de garantizar la continuidad del suministro en zonas importadoras netas de recursos energéticos y de la búsqueda de la sostenibilidad en el uso de los recursos. [1]

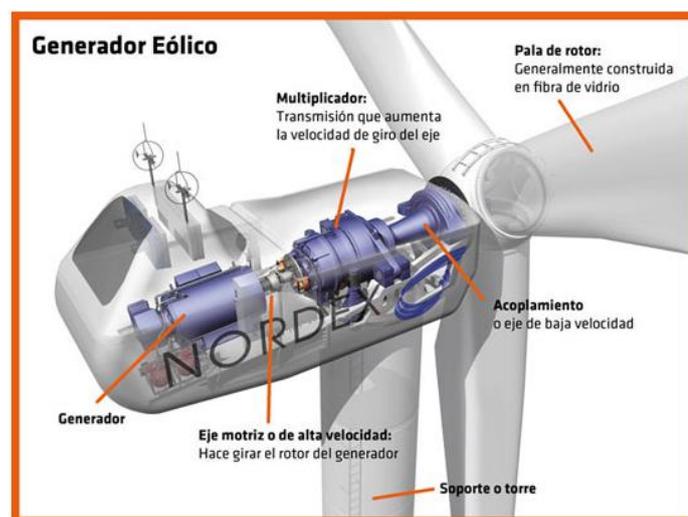


Figura 1: Partes de un generador. [2]

La máquina que hace posible que hoy en día se hable de energía eólica como una fuente de energía, es el aerogenerador; estos han ido evolucionando para adaptarse a distintas necesidades a lo largo de los años.

Los distintos aerogeneradores que existen son:

- Aerogenerador de eje vertical: es el concepto original de aerogenerador dentro de la energía eólica, ya que permite colocar el tren de potencia (multiplicadora, generador eléctrico, etc) en la base del aerogenerador, facilitando así la instalación de estos aerogeneradores. Las palas de este aerogenerador están girando en un plano paralelo al suelo.
- Aerogenerador de eje horizontal: es el concepto para producir energía eólica que se ha implantado a lo largo de los años. Consiste en colocar el tren de potencia en la parte superior junto al eje de giro de la turbina eólica. Las palas de este aerogenerador están girando en un plano perpendicular al suelo.

También, los aerogeneradores se pueden clasificar por la potencia, existiendo la energía mega eólica (con aerogeneradores de más de 5 Mw), mini eólica (con aerogeneradores de menos de 200 kw) y energía eólica normal. [2]

3. ESQUEMA

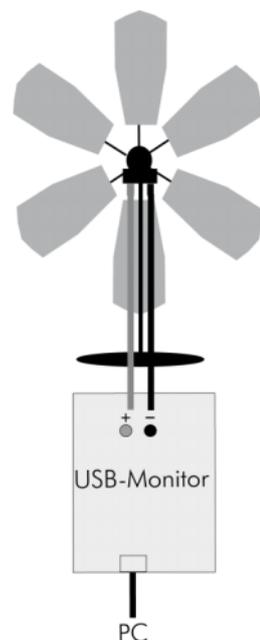


Figura 2: Esquema a la izquierda conexión con la PC. A la derecha posición con el ventilador

4. MATERIALES

1 generador eólico	2 cables: 1 negro, 1 rojo
USB-Data Monitor	1 cinta métrica
Cable USB	Pinzas planas para poder girar la posición de las aspas
PC con software instalado	
1 ventilador	

Tabla1.

5. INSTRUCCIONES

- Arme la configuración de ensayo según lo mostrado en Fig.2.
- Monte todas las aspas en el molinete.
- Conecte el ventilador. El ventilador se coloca directamente al frente del generador eólico a una distancia de 50 cm.
- Inicie el software y seleccione la pestaña *GENERADOR EÓLICO*, conmute el modo de operación a *MODO MANUAL*.
- Modifique uniformemente la posición de todas las aspas, girándolas, de acuerdo a código establecido
- Anote sus observaciones.
- Encuentre la posición de las aspas en la cual el generador eólico suministra la tensión sin carga más alta.
- Vaya retirando sucesivamente las aspas. Preste atención a que estén orientados simétricamente
- Grafique todas las curvas de tensión de las posiciones en una sola grafica
- Coloque el generador eólico en dos ángulos: 45° y 135° de modo q cambie la dirección del viento, mida los valores de tensión y grafique sus curvas.

6. DESARROLLO

POSICIONES DE LAS ASPAS.

Para poder realizar una disposición favorable de las aspas, estas se encuentran numeradas desde el 0 al 16, correspondiéndole a cada número un ángulo establecido.

Posición	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ángulo	0°	22,5°	45°	67,5°	90°	112,5°	135°	157,5	180

Tabla 2

Las posiciones de la 9 a la 16 son las mismas que de la 0 a la 8 por eso no se las considera.

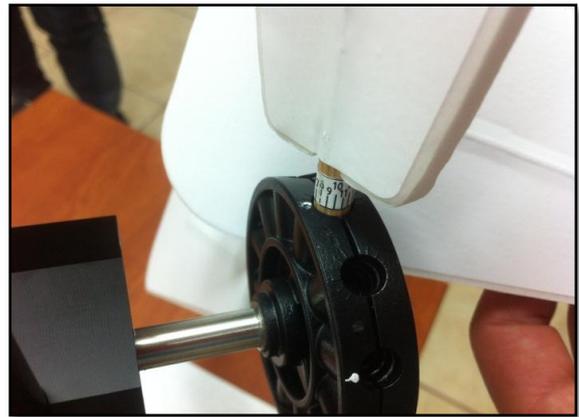
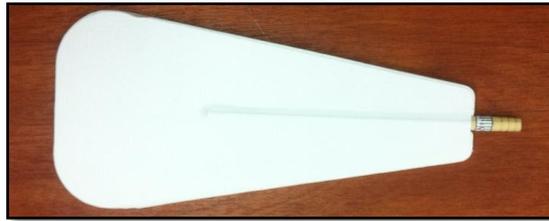


Figura 3: Numeración para la disposición de la posición.

**COMPORTAMIENTO DE CORRIENTE Y TENSIÓN SEGÚN LA
POSICIÓN DE LA ASPA**



Figura 4: Foto de la posición 0



Figura 5: Foto de la posición 4

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE TENSIÓN (mV)
OBTENIDOS DEL SOFTWARE

N° de mediciones	Pos. 0	Pos. 1	Pos. 2	Pos. 3	Pos. 4
	Áng. 0°	Áng. 22,5°	Áng. 45°	Áng. 67,5°	Áng. 90°
1	0	6825,16	2992,77	0	0
2	0	6945,04	2876,76	0	0
3	0	7057,62	2979,45	0	0
4	0	6972,54	3062,38	0	0
5	0	6768,87	3081,29	0	0

N° de mediciones	Pos. 5	Pos. 6	Pos. 7	Pos. 8
	Áng. 112,5°	Áng. 135°	Áng. 157,5	Áng. 180
1	3747,3	6156,99	8669,81	0
2	3936,37	6082,23	8704,18	0
3	3951,84	6229,61	8703,32	0
4	3946,25	6287,62	8608,79	0
5	3642,46	6218,01	8628,12	0

*Pos. = Posición * Áng. = Ángulo de la aspa

Tabla 3: Datos del experimento

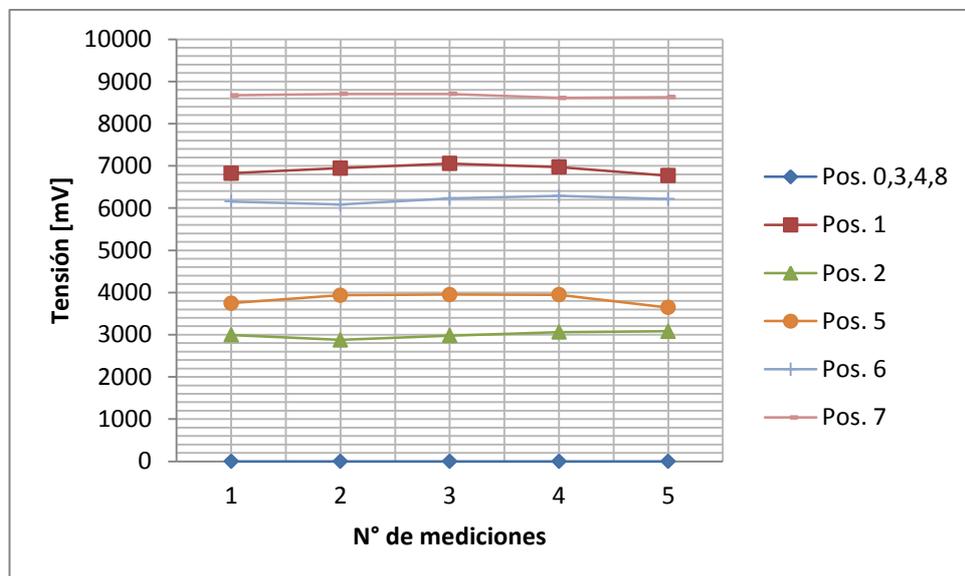


Grafico 1: Curvas de tensión con diferentes posiciones

**COMPORTAMIENTO DE CORRIENTE Y TENSIÓN SEGÚN EL
NÚMERO DE ASPAS**



Figura 6: Foto con 2 aspas



Figura 7: Foto con 6 aspas

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE TENSIÓN (mV) OBTENIDOS DEL SOFTWARE

N° de mediciones	Posición 7				
	2 Aspas	3 Aspas	4 Aspas	5 Aspas	6 Aspas
1	5675,74	8101,33	10000	8495,78	8669,81
2	5582,5	8101,33	10000	8527,58	8704,18
3	5402,03	8054,49	10000	8545,62	8703,32
4	5850,62	8178,67	10000	8543,91	8608,79
5	5891,44	8195	10000	8453,24	8628,12

Tabla 4: Datos del experimento

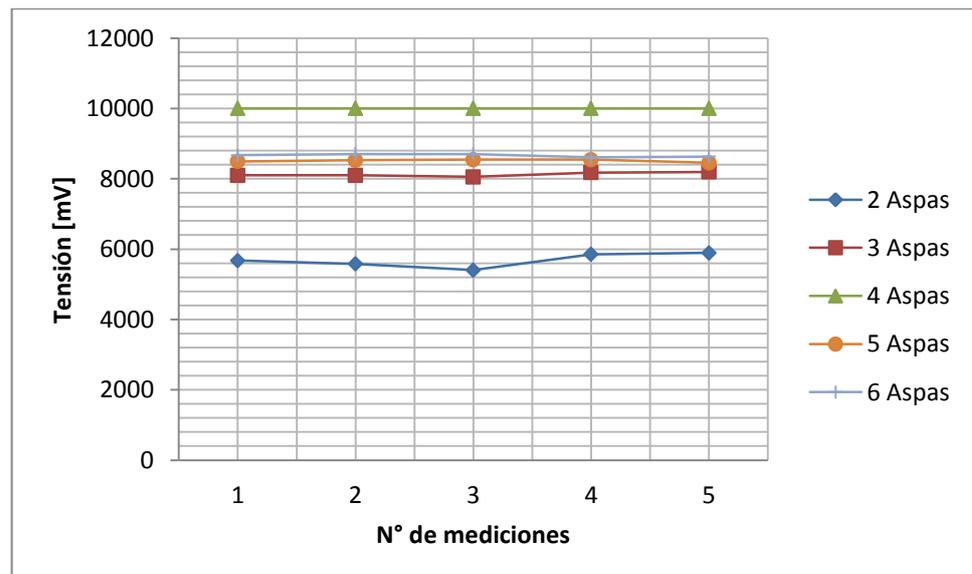


Gráfico 2: Curvas de tensión según el número de aspas

**COMPORTAMIENTO DE VALORES MEDIDOS CON
DISTINTAS DIRECCIONES DE VIENTO**



Figura 8: Foto a 45° con 3 aspas



Figura 9: Foto a 135° con 3 aspas

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE TENSIÓN (mV) CON DIFERENTES DIRECCIONES DEL VIENTO		
N° de mediciones	Posición 7	
	A 45°	A 135°
1	4352,31	4745,9
2	4476,48	4847,31
3	4502,7	4859,34
4	4559,3	4833,55
5	4583,59	4913,91
6	4520,9	4968,05

Tabla 5: Datos del experimento

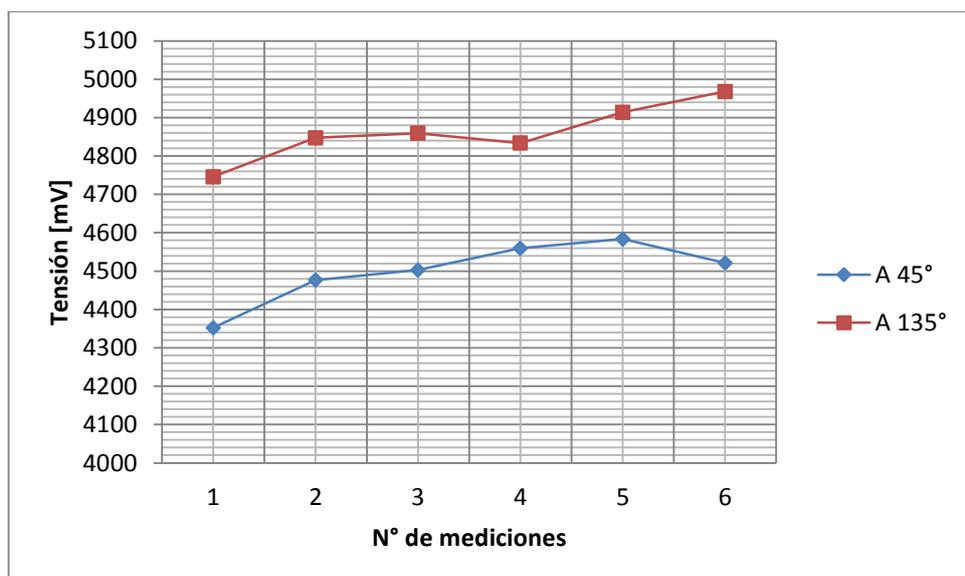


Gráfico 3: Curvas de tensión con diferente dirección de viento.

**COMPORTAMIENTO DE VALORES MEDIDOS CON
DISTINTAS VELOCIDADES DE VIENTO**



Figura 10: Foto con velocidad de 5,4m/s



Figura 11: Foto con velocidad de 3,9 m/s

**COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE TENSIÓN (mV) CON DIFERENTES
VELOCIDADES DEL VIENTO**

N° mediciones	Dos aspas		Tres aspas		Cuatro aspas		Seis aspas	
	3,9 m/s	5,4 ms	3,9 m/s	5,4 ms	3,9 m/s	5,4 m/s	3,9 m/s	5,4m/s
1	4846,02	6647,69	7055,47	8875,94	7664,34	8890,66	7405,23	8997,23
2	5685,2	6428,56	6650,7	8737,27	7641,99	8828,36	7707,3	9010,98
3	5635,35	6484,84	6387,3	8678,83	7598,16	8738,12	7340,78	9027,31
4	4781,99	6701,84	6343,91	8670,66	7156,87	8797,85	7106,6	8980,04
5	4306,76	6295,78	6605,16	8672,38	7206,29	8818,48	7350,23	8925,9

Tabla 6: Datos del experimento

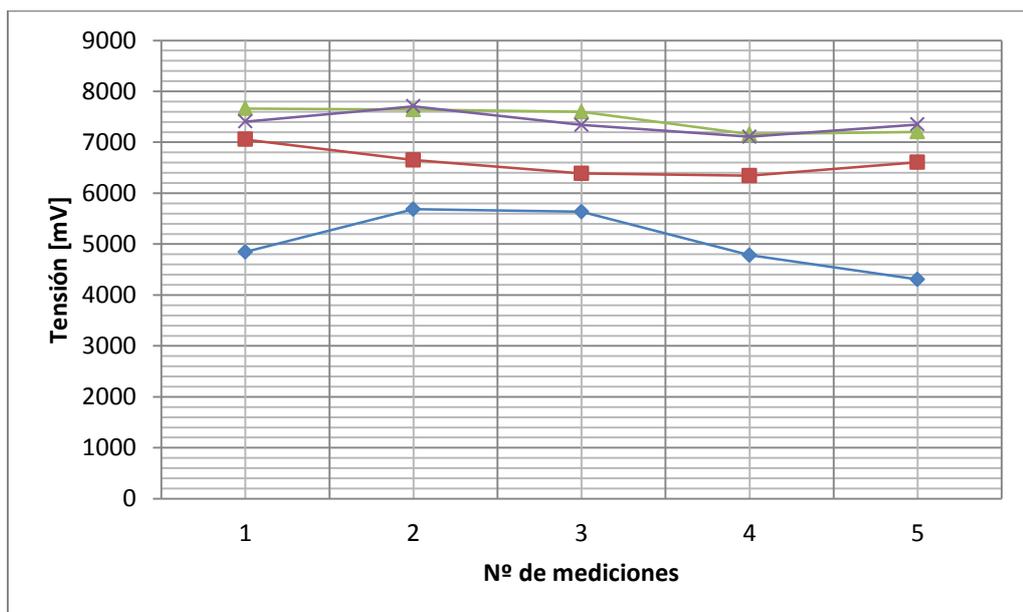


Gráfico 4: Curvas de tensión con velocidad de 3,9 m/s.

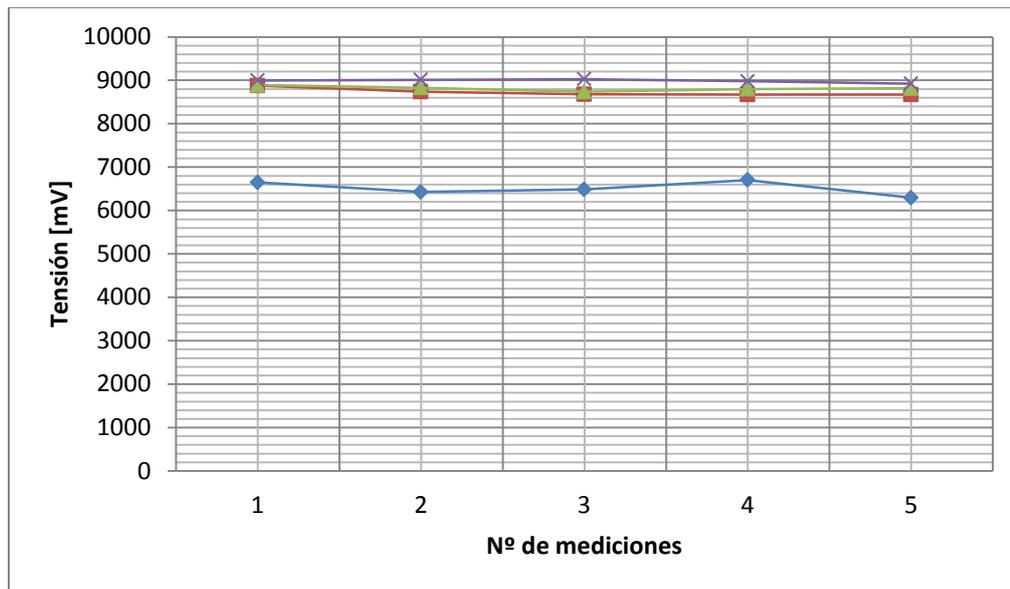
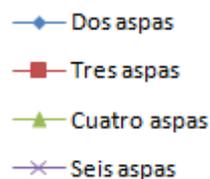


Gráfico 5: Curvas de tensión con velocidad de 5,4 m/s.



Referencia para la gráfica 4 y 5.

7. CUESTIONARIO

PREGUNTAS SOBRE EL EXPERIMENTO

1. *¿Cómo se comportan la corriente y la tensión con distintas posiciones de las aspas?*

El ángulo de inclinación de las aspas tiene una influencia determinante en la potencia de un generador eólico, en caso de orientación desfavorable de las aspas es posible que el rotor no gire, la mayor potencia se obtiene cuando el viento actúa paralelo al eje del rotor.

2. *¿Cómo se comportan la corriente y la tensión con un menor número de aspas?*

En nuestro generador eólico según las pruebas se observa que se obtiene más tensión con 4 aspas, es por eso que no se debe pensar que con mayor número de aspas es mejor, incluso en otras aplicaciones lo óptimo se da con 3 aspas pero la forma aerodinámica es diferente y eso también influye.

3. *¿Cómo se comportan los valores medidos con distintas direcciones del viento?*

El generador eólico genera más tensión si el rotor está orientado en ángulo recto a la dirección del viento.

PREGUNTAS GENERALES

4. *¿Qué es la energía eólica?*

La energía eólica es la energía cinética del viento. [3]

5. *¿Qué es un aerogenerador?*

Un aerogenerador es una máquina que utiliza la energía cinética de las masas de aire y la convierte en energía eléctrica. [4]

6. *¿Cuáles son las ventajas de la energía eólica?*

- Coste energético estable
- Energía limpia inagotable
- Instalaciones ampliables
- Desarrollo rural
- Contribución a la disminución del consumo de combustibles fósiles
- La fuente de la energía está a la vista, instalaciones pequeñas. [5]

7. *¿Cuáles son las desventajas de la energía eólica?*

Es difícil de prever cuándo y dónde habrá mucho viento.

Debido a sus capacidades limitadas, la red eléctrica no se puede absorber suficiente energía de algunos aerogeneradores si hay vientos fuertes, entonces, estos aerogeneradores pueden entregar menos energía de lo que sería posible y, en parte, incluso se tienen que desconectar en caso de sobrecarga de las redes eléctricas. Los aerogeneradores pueden causar un fuerte impacto visual en el paisaje.

La construcción es compleja y cara.

Las aspas en movimiento producen un zumbido que es percibido como molesto por muchos animales y también personas. Los aerogeneradores modernos están optimizados desde el punto de vista aerodinámico de manera que la generación de ruido queda reducida fuertemente. [5]

8. *¿Qué peligros pueden surgir en el uso de aerogeneradores?*

En caso de carga incontrolada, las aspas pueden acelerar tanto que la fuerza resultante puede llegar a ser tan alta que se rompa la instalación. [6]

PREGUNTAS DE COMPRENSIÓN

9. *¿Por qué motivo el tema de la energía eólica es muy controvertido en la política a pesar de ser muy ecológico?*

Mucha gente considera la energía eólica como poco rentable, según ellos, los aerogeneradores destruyen el paisaje y generan poca energía. Muchas veces, el impacto de los parques eólicos en la fauna se considera problemático; por esta razón, a la hora de discutir las ventajas y desventajas es necesario cuestionar siempre especialmente todos los intereses de los defensores y los detractores.

10. ¿Por qué tienen la mayoría de aerogeneradores sólo 3 aspas?

Las aspas de un aerogenerador pueden tener diámetros de hasta 10m y pesar hasta 20 toneladas, cuanto mayor sea el número de aspas, mayor es también la inercia del rotor, porque cuanto mayor sea la masa, mayor es la inercia. Por lo tanto, el aerogenerador tardaría considerablemente más en ponerse en movimiento si tuviera 5 ó 6 aspas; actualmente, la mayoría de los aerogeneradores tienen 3 aspas, en varias instalaciones de ensayo se determinó a lo largo de varios años que este número es el más eficiente.

Además con más aspas tenemos mayor costo sin elevar considerablemente la energía de salida.

8. CONCLUSIONES

Que puede concluir usted con respecto a las diferentes posiciones de los ángulos de las aspas en el generador eólico:

Se han establecido varias posiciones en las que pueden ir ubicadas las aspas del generador, al variar estas posiciones hay una variación de la tensión que se genera, la posición en la que más voltaje obtenemos es en la 1 y en la 7 dichos ángulos son $22,5^\circ$ y $157,5^\circ$ respectivamente. Esto sucede ya que el viento llega a las aspas con estos ángulos y es desviada esa corriente hacia las otras aspas lo cual provoca la rotación.

Cuando la corriente de viento choca perpendicularmente en las aspas (posición 0; ángulo 0°) no hay movimiento, de la misma manera cuando la corriente del viento es paralela a la dirección de las aspas (posición 4; ángulo 90°) no hay rotación.

Que puede concluir usted con respecto a variar el número de aspas del generador eólico:

Al variar la cantidad de aspas hay una variación del voltaje obtenido. Con 4 aspas se obtiene mayor voltaje que con 5 y 6. Con 3 aspas se puede obtener un voltaje muy cercano a la obtenida con 4 aspas. Con 2 aspas apenas giran las aspas.

Con aspas con perfiles diferentes a los que se usa en este equipo, se puede obtener un mayor rendimiento con 3 aspas pero esto se debe a la aerodinámica de su diseño. En nuestras prácticas con las aspas planas el mayor rendimiento llega con 4 aspas.

Que puede concluir usted, respecto a la variación de la dirección del viento:

Según la variación del viento nosotros hemos girado el generador eólico a 45° y a 135°. Claramente al no estar llegando el aire perpendicularmente a las aspas se disminuye la cantidad de voltaje aproximadamente a la mitad.

Es por ello la importancia de que los aerogeneradores posean mecanismos de orientación para recibir directamente el viento, en nuestro caso no es necesario ya que el ventilador siempre lo colocamos de frente al generador.

9. BIBLIOGRAFÍA

[1] MANUEL FRANQUESA VONESCHEN, “*Cómo empezar a intentar construir un sencillo generador eólico*”, [en línea] < <http://www.uv.es/~navasqui/aero/Manualeolo.pdf>

[2] MAURICIO FRANCO, “*como funciona un generador eólico*”, Colombia, [en línea] < <http://www.ecolife.co/index.php/ecotecno/114-como-funciona-un-generador-eolico>

[3] J. Gonzales, R. Calero, A. Colmenar, M. Castro, E. Collado, “*Centrales de energías renovables*”. España: Pearson Educación S.A, 2013

[4] “*Funcionamiento de un aerogenerador*”, Barcelona, [en línea] < <http://eoliccat.net/la-tecnologia/principios-de-la-energia-eolica/como-funciona-un-aerogenerador/?lang=es>

[5] A. Madrid, “*Energías renovables fundamentos, tecnologías y aplicaciones: solar, eólica, biomasa, geotérmica, hidráulica, pilas de combustible, cogeneración y fusión nuclear*”. Madrid: AMV Ediciones Mundiprensa, 2009.

[6] LEZA, ESCRIBANA & ASOCIADOS S.A.” *Nuevos riegos aerogeneradores* “, Perú, buenos aires, Argentina, [en línea] < <http://www.lea.com.ar/circulares/2008/4-2008%20Aerogeneradores.pdf>

PRÁCTICA N°	TIEMPO ESTIMADO	TEMA	INTEGRANTES
2	20 min	OBTENCIÓN DE LA POTENCIA EN EL GENERADOR EÓLICO	_____ _____ _____

1. OBJETIVOS

- Determinar los valores máximos de voltaje y corriente en el generador eólico.
- Calcular la potencia del generador eólico.
- Graficar los resultados de potencia.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

La potencia máxima en un generador eólico

La máxima potencia que podemos obtener, ya sea con un molino de viento o un aerogenerador de última generación, se calcula con la siguiente fórmula aproximada, que tiene en cuenta todas las pérdidas (aerodinámicas, mecánicas y eléctricas) de la máquina:

$$P = 0,15 * D^2 * v^3 \quad (1)$$

Dónde:

- P es la potencia expresada en vatios [W]
- D es el diámetro del rotor en metros [m]
- v es la velocidad del viento en metros por segundo [m/s].

Esta sencilla fórmula es fruto del señor Betz, un sabio alemán que en 1926 publicó el primer tratado sobre la teoría aerodinámica aplicada a las turbinas eólicas.

Velocidad de giro

La velocidad de giro de una eólica se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$n = (60 * \lambda * v) / (\pi * D) \quad (2)$$

Dónde:

n = es el número de revoluciones por minuto [rpm]

λ = se llama velocidad específica. Este factor depende del tipo de eólica (rápida o lenta).
Puede tener un valor comprendido entre aprox. 1 y 14

v = es la velocidad del viento en metros por segundo [m/s]

D = es el diámetro de la eólica en metros [m]

Para hacerse una idea: En un aerogenerador moderno de 20 metros de diámetro (los que se utilizan en los controvertidos parques eólicos), la velocidad específica es del orden de $\lambda = 8$.
[1]

Curvas de potencia

Mediante las curvas de potencia se puede conocer cuando una aeroturbina suministra energía. Cuando el viento supera la velocidad mínima la máquina comienza a suministrar potencia aumentando ésta a medida que aumenta la velocidad del viento, hasta que éste alcanza una velocidad nominal que se corresponde con la potencia nominal del generador; para velocidades superiores los sistemas de control mantienen constante la potencia, evitando una sobrecarga en la turbina y en el generador. Las curvas que relacionan la velocidad del viento, con el número de horas de funcionamiento del aerogenerador. A partir de estas curvas se puede obtener la curva de potencia disponible del viento, y la curva de potencia eléctrica suministrada por el aerogenerador. El área encerrada por esta última, proporciona la energía eléctrica generada en un año, siendo frecuente expresar estas potencias y energías, por unidad de superficie barrida por el rotor. [2]

3. ESQUEMA

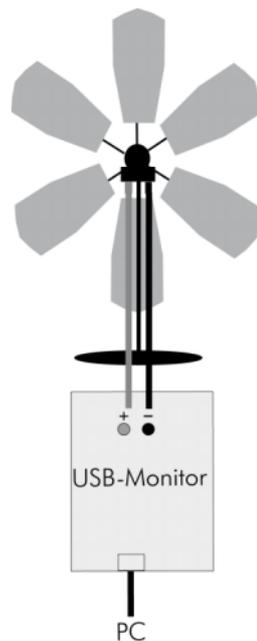


Figura 1: Esquema a la izquierda conexión con la PC. A la derecha posición con el ventilador

4. MATERIALES

1 generador eólico	2 cables: 1 negro, 1 rojo
USB-Data Monitor	1 cinta métrica
Cable USB	Pinzas planas para poder girar la posición de las aspas
PC con software instalado	
1 ventilador	

Tabla1.

5. INSTRUCCIONES

- Arme la configuración de ensayo según lo mostrado en Fig. 1.
- Utilice un generador eólico con 2, 3, 4 y 6 aspas.
- Oriente el generador eólico y el ángulo de inclinación de las aspas de manera que se alcance la máxima tensión sin carga posible (posición 7).
- Inicie el software y seleccione la pestaña *GENERADOR EÓLICO*.
- Conecte el ventilador.
- Conmute el modo de operación a *MODO AUTOMÁTICO* e inicie la medición.
- Registre los valores de corriente y de tensión en una tabla y calcule la potencia. – *La potencia se calcula con la fórmula $P = V * I$.*
- Dibuje la curva característica de potencia y tensión en Excel; luego en el *software*, haga clic en *GRÁFICO DE POTENCIA* y realice la comparación con la curva característica de potencia trazada.
- Dibuje la curva característica de potencia y tensión con 2, 3, 4 y 6 aspas en una sola gráfica

6. DESARROLLO

POSICIONES DE LAS ASPAS.

Para poder realizar una disposición favorable las aspas, estas se encuentran numeradas desde el 0 al 16, correspondiéndole a cada número un ángulo establecido.

Posición	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Ángulo	0°	22,5°	45°	67,5°	90°	112,5°	135°	157,5	180

Tabla 2.

Las posiciones de la 9 a la 16 son las mismas que de la 0 a la 8 por eso no se las toma en cuenta.



Figura 2: Numeración para la disposición de la posición.

**OBTENCIÓN DE MÁXIMA POTENCIA DE UN GENERADOR EÓLICO
CON LA MÁXIMA VELOCIDAD DEL VENTILADOR**



Figura 3: Foto con 2 aspas posición 7



Figura 4: Foto con 6 aspas posición 7

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE TENSIÓN (mV) OBTENIDOS DEL SOFTWARE						
N° de mediciones	Posición 7					
	Con 2 aspas			Con 3 aspas		
	mA [A]	mV [V]	P[W]	mA [A]	mV [V]	P[W]
1	0	6615,9	0	0	8278,36	0
2	20,28	5744,49	0,116498257	18,43	7648,87	0,140968674
3	38,71	4952,58	0,191714372	40,56	7400,08	0,300147245
4	58,99	3188,28	0,188076637	60,83	6973,4	0,424191922
5	81,11	1689,96	0,137072656	79,27	6745,23	0,534694382
N° de mediciones	Con 4 aspas			Con 6 aspas		
	mA [A]	mV [V]	P[W]	mA [A]	mV [V]	P[W]
	1	0	8953,4	0	0	8581,29
2	20,28	8287,81	0,168076787	20,28	7954,37	0,161314624
3	40,56	7858,12	0,318725347	38,71	7531,13	0,291530042
4	60,83	7787,23	0,473697201	58,99	7376,87	0,435161561
5	79,27	7451,64	0,590691503	79,27	7022,81	0,556698149

Tabla 3. Datos del experimento

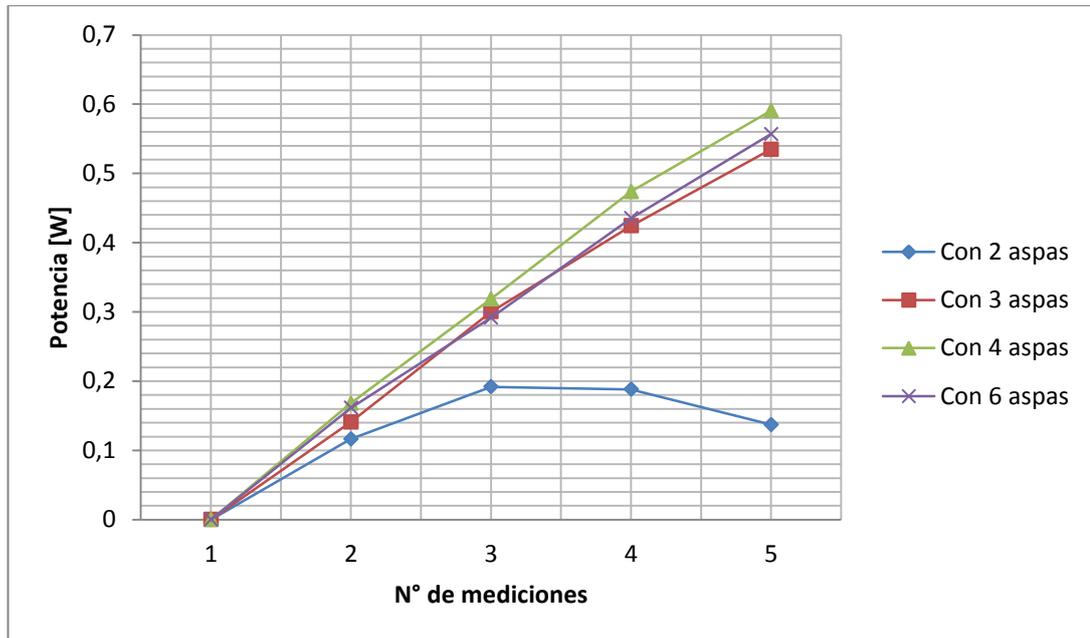


Grafico 1: Curvas de potencia con diferentes números de aspas.

CÁLCULOS:

Para realizar los cálculos se necesita medir el diámetro de las aspas y la velocidad del viento:

Diámetro de las aspas: 0,42 m

Velocidad del viento: 5,4 m/s (La velocidad del viento se mide mediante un anemómetro)



Figura 2: Velocidad del viento medida con el anemómetro.

Calcular la velocidad específica del generador eólico utilizando la formula (1):

$$n = (60 * \lambda * v) / (\pi * D)$$

$$n = (60 * \lambda * v) / (\pi * D)$$

$$\lambda = n * (\pi * D) / (60 * v)$$

$$\lambda = 561 * (\pi * 0,42) / (60 * 5,4)$$

$$\lambda = 561 * (\pi * 0,42)/(60 * 5,4)$$

$$\lambda = 2,28 \text{ m/s}$$

7. CUESTIONARIO

PREGUNTAS SOBRE EL EXPERIMENTO

1. *¿Cómo se puede alcanzar la potencia máxima del generador eólico?*

Se alcanza la potencia máxima eligiendo el número óptimo posible de aspas y determinando el ángulo de inclinación, la distancia y orientación del ventilador.

2. *¿Cómo se presenta la curva característica de potencia?*

Conforme van aumentando los valores de tensión y corriente, en la gráfica es proporcional el incremento de la potencia hasta llegar a un punto de estabilizarse.

3. *¿Cómo se puede determinar la potencia máxima del generador eólico?*

En nuestro caso tenemos una mayor potencia usando 4 aspas y en la posición 7 es decir a los 157,5°.

PREGUNTAS GENERALES

4. *¿Cuándo tuvo la humanidad la idea de aprovechar la energía eólica?*

El uso de la energía eólica ya se inició 1000 años antes de nuestra era para hacer avanzar barcos de vela, el uso de la energía eólica con molinos o bombas de agua surgió primero en Persia y Mesopotamia (Asia Occidental) en el siglo X. En Europa se empezaron a utilizar molinos de viento en el siglo XII. [3]

5. *¿Cuándo surgió la primera instalación eólica para la generación de electricidad?*

En el año 1888, Charles F. Brush construyó en EE. UU la primera instalación eólica totalmente automática para la generación de electricidad, el rotor tenía un diámetro de 17 metros y 144 aspas. [4]

6. *¿Qué país tiene la mayor potencia total instalada de aerogeneradores?*

El país que tiene mayor potencia en aerogeneradores es China generando 45 GW, seguido de Estados Unidos con 43 GW y Alemania con 28 GW. [5]

PREGUNTAS DE COMPRENSIÓN

7. *¿Cómo se produce el viento?*

El sol calienta la superficie de la tierra en diferentes medidas, en el ecuador, la intensidad de la radiación solar es muy alta; por esta razón, el aire próximo al suelo se calienta allí fuertemente y sube a las capas más altas de la atmósfera, allí se produce entonces una mayor presión atmosférica que en el entorno. Dado que un sistema trata siempre de establecer un equilibrio, el sistema de la atmósfera trata de compensar la presión atmosférica; así surge el viento. [6]

8. *¿Se pueden realizar predicciones de que el viento como fuente de energía es inagotable?*

Mientras exista el sol y la tierra se caliente con su radiación habrá viento, eso quiere decir que si es energía inagotable. [7]

9. *¿Por qué se construyen plantas eólicas en la proximidad de la costa? ¿Por qué hay más viento en la proximidad de la costa?*

En la proximidad de la costa, la presencia de vientos está garantizada por la clara diferencia en la conductividad térmica del mar y de la tierra y los consiguientes movimientos de masas de aire, durante el día, la tierra se calienta mucho más deprisa que el mar, por esta razón, el aire caliente sobre la tierra asciende más rápidamente. Esto produce una caída de la presión que queda compensada por la entrada de aire desde el mar; por la noche, el efecto es exactamente inverso. [8]

10. *¿Por qué se necesita un engranaje en un aerogenerador?*

La mayoría de los aerogeneradores necesitan un engranaje porque los generadores utilizados precisan unas velocidades de giro netamente superiores a las que puede suministrar el rotor, el engranaje aumenta la velocidad de giro entre el rotor y el generador, sin embargo existen también aerogeneradores sin engranaje. [9]

8. CONCLUSIONES

Que puede concluir usted, con cuantas aspas genera más potencia y con cuantas genera menos.

En las prácticas realizadas se observó que con un número de seis aspas la curva de potencia sube hasta un máximo de 1,072[W], mientras que con un número de 3 aspas la potencia máxima generada es de 0,865[W]

Que puede concluir usted con respecto a la generación de potencia cuando se colocan diferentes números de aspas.

Según la gráfica se puede observar que en la potencia máxima obtenida con 3, 4 y 6 aspas no hay una variación significativa de potencia, esto significa que en una instalación a gran escala es preferible utilizar 3 o 4 aspas por los costos ya que las aspas pueden ser de elevado precio y además involucran un peso mayor, aumentando la inercia del generador.

Es preferible tener un poco menos de potencia que invertir mucho dinero en mayor cantidad de aspas.

Respecto a la potencia obtenida con 2 aspas, ésta fue menor que las demás y no sería factible utilizar un sistema como este, lo óptimo sería un generador con 3 o 4 aspas.

9. BIBLIOGRAFÍA

[1] MANUEL FRANQUESA VONESCHEN, “*Cómo empezar a intentar construir un sencillo generador eólico*”, [en línea] < <http://www.uv.es/~navasqui/aero/Manualeolo.pdf>

[2] Fernández, P (1993). *Energía Eólica*. Cantabria.

[3] G. Enríquez, [en línea] < *El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos*. Mexico: Limusa, 2011.

[4] @AMMONIT, “*Que es la energía eólica*”, Germany, [en línea] < <http://www.ammonit.com/es/informacion-eolica/energia-eolica>

[5] “*Energía eólica*” [en línea] < <http://www.ecologiahoy.com/los-5-paises-mas-eolicos>

[6] J. Fernández, *Tecnología de las energías renovables*. Madrid: A. Madrid Vicente Ediciones, 2009.

[7] J. Gonzales, R. Calero, A. Colmenar, M. Castro, E. Collado, *Centrales de energías renovables*. España: Pearson Educación S.A, 2013

[8] A. Madrid, *Energías renovables fundamentos, tecnologías y aplicaciones: solar, eólica, biomasa, geotérmica, hidráulica, pilas de combustible, cogeneración y fusión nuclear*. Madrid: AMV Ediciones Mundiprensa, 2009.

[9] “*Aerogeneradores*”, [en línea] < <http://www.jenijos.com/AEROGENERADORES/aerogeneradores.htm>

CAPITULO III

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE SISTEMAS DE ELECTRÓLISIS Y PILA DE COMBUSTIBLE UTILIZANDO EL EQUIPO CLEAN ENERGY TRAINER

3.1 Introducción.

El hidrógeno es el elemento más abundante de la naturaleza aunque no se encuentra en estado libre, a lo largo del tiempo se ha desarrollado una técnica para convertir el hidrógeno en energía eléctrica, esto es posible gracias a la electrólisis y el uso de pilas de combustible; las dos técnicas mencionadas constituyen una forma de obtener energía de forma limpia e ilimitada y en el equipo CLEAN ENERGY TRAINER se pueden realizar prácticas de lo mencionado. [18]

Dado que el hidrógeno es utilizado como combustible se puede compararlo con otros (Tabla 3.1) y se puede apreciar algunas características. [18]

	Hidrógeno	Gas natural	Gasolina	Propano
PCI (kJ/kg)	120	49,5	42 - 44	44
Densidad en condiciones estándar (g/l)	0,086	0,598	718 - 778	505
Estado en condiciones estándar	Gas	Gas	Líquido	Líquido
Temperatura de autoignición en aire (°C)	565 - 582	540	257	454 - 510
Concentración de inflamabilidad en aire (% en volumen)	4,1 - 74	5,3 - 15	1,4 - 7,6	2,2 - 9,5
Coefficiente de difusión en el aire (cm ² /s)	0,61	0,16	0,051	0,109
Toxicidad para las personas	No tóxico Asfixiante	No tóxico Asfixiante	Veneroso Irritante para pulmones, estómago y piel	No tóxico Asfixiante

Figura 3. 1: Propiedades comparativas de combustibles [25]

La producción de hidrógeno se puede dar de dos formas: a partir de combustible fósil y la producción electrolítica, el segundo caso es el tema en cuestión en este capítulo.

La electrólisis se usa cuando se necesita elevada pureza, es decir cuando el hidrógeno va a ser usado para generar energía como es el caso de las pilas de combustible, el proceso consiste en separar dos elementos de un compuesto (agua) por medio de electricidad; la reacción se inicia aplicando una corriente de 1,5V (corriente continua) a dos electrodos, inmediatamente los electrones se dirigen al cátodo

(reducción) y se liberan electrones en el ánodo (oxidación); en el ánodo se genera oxígeno y en el cátodo hidrógeno, que se mantienen separados por una membrana permeable a los iones que mantiene el equilibrio de cargas. [19] [20]

La electrólisis debe realizarse teniendo el cuidado que los gases desprendidos no entren en contacto porque pueden producir una mezcla peligrosa, en la (Figura 3.1) se puede apreciar un esquema general de funcionamiento de la electrólisis [19]

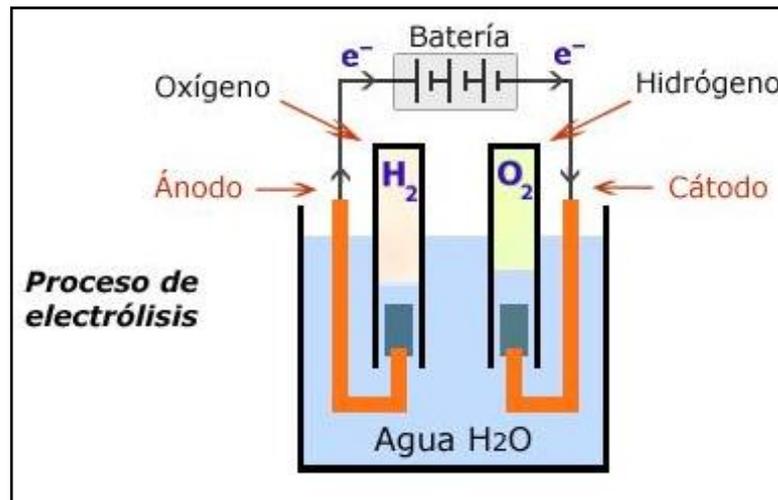


Figura 3. 2: Esquema del proceso de electrólisis [26]

Una vez que se ha obtenido el hidrógeno estos se almacenan en acumuladores para luego utilizarlos para generar energía eléctrica, este proceso se realiza mediante la pila de combustible que es una especie de batería de alta tecnología que convierte la energía química del combustible que la alimenta en energía eléctrica y es capaz de suministrar electricidad de forma continua mientras se mantenga el aporte de hidrógeno. [21]

Uno de los reactivos de la pila es siempre el oxígeno y dada su disponibilidad no es necesario almacenar, la pila de combustible es uno de los conversores energéticos más eficientes dado que alcanza un 95% en relación a la eficiencia de un motor por ejemplo que tiene un valor del 25%, donde gran parte de la energía se pierde en los ruidos, vibraciones, calor, etc. [21] [22]

En si una pila de combustible está conformada de pilas individuales llamadas células de combustible, éstas constan de un ánodo y un cátodo separados por un electrolito que generalmente es una membrana. En el ánodo se produce la reacción del hidrógeno que se disocia en dos protones y dos electrones, lo iones positivos circulan a través de la membrana polimérica hasta el cátodo y ahí se combina con el oxígeno

para formar agua, los circuitos que no hay podido atravesar la membrana se escapan por un circuito eléctrico. En la (figura 3.2) se muestra un esquema de una pila de combustible. [21] [22] [23]

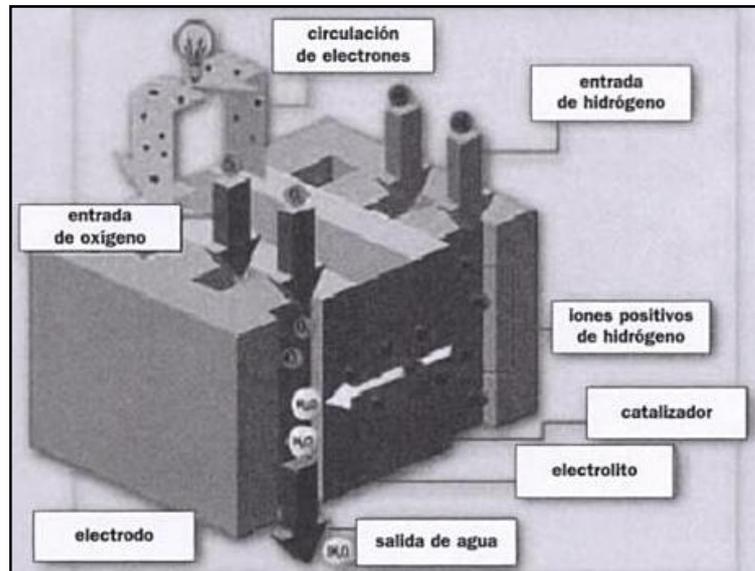


Figura 3. 3: Esquema pila de combustible [25]

La cantidad de energía eléctrica que produce una pila de combustible, depende de factores como: tipo, tamaño, temperatura a la que funciona, presión a la que se suministran los gases y por el número de células que la forman. [24]

Entre los tipos de pila de combustible una manera de clasificarlos es según el tipo de electrolito que utilizan, así se pueden tener varios tipos (Tabla 3.2).

Tipos de pilas			
Tipo	Electrolito*	Ion transporte **	Temperatura de operación (°C)
Membrana polimérica (PEM)	Polímero sólido	H*	60-100
Alcalina (AFC)	Solución acuosa de (KOH)	OH ⁻	90-100
Ácido fosfórico (PAFC)	H ₃ PO ₄	H	175-200
Carbonatos fundidos (MFCF)	Solución líquida de LiKCO ₃	CO ₃ ³⁻	600-100
Óxidos de sólidos (SOFC)	Y-ZrO ₂	O ³⁻	600-100

* La membrana más utilizada en el tipo PEM es el náclon; KOH: hidróxido de potasio (potasa); H₃PO₄: ácido (orto); LiKCO₃: carbonatos de litio y potasio, aunque son posibles otras combinaciones de carbonatos alcalinos; Y-ZrO₂: óxido de zirconio (zirconia) estabilizado con una pequeña cantidad de itrio: un material cerámico.

** Ion que se desplaza de un electrodo a otro. En los dos tipos PEM y PAFC las cargas positivas que se han formado en el ánodo se desplazan hasta el cátodo, donde reaccionan con el oxígeno: en el resto de los tipos ocurre lo contrario: son los iones negativos los que atraviesan el electrolito para cambiarse con el hidrógeno

Tabla 3. 1: Tipos de pilas de combustibles [24]

3.2 Aplicaciones

Las pilas de combustible son muy usadas en la industria automotriz, los autobuses en Madrid y Barcelona es prueba de esto, además ser aplicados en diferentes modelos de marcas como Toyota, Ford, Honda, etc. El objetivo de la Unión Europea es que en 2020 se muevan con pilas de combustible el 2% de los autos europeos, también las motos, submarino y hasta los aviones comerciales. [21] [22]

Los dispositivos electrónicos portátiles son otro de los campos de aplicación, como no se requiere mucha energía las micropilas PEM y las alimentadas por metanol son muy usadas. [21] [22]

Además se están empezando a comercializar electrodomésticos basados en pila de combustible. Además de su alta eficiencia, su funcionamiento silencioso y sus nulas o bajas emisiones permiten que se pueda construir pequeñas centrales cerca de los núcleos de población, empresas como Siemens o MTU han desarrollado mini centrales de 200 kW. [21] [22]

Si se habla de las ventajas en el medio ambiente, el usar hidrógeno-pila no produce contaminantes, solo produce vapor de agua puro también es importante mencionar la alta eficiencia que tienen. [23]

3.3 Componentes del equipo CLEAN ENERGY TRAINER

Para el desarrollo de las prácticas de electrólisis y pila de combustible a continuación de describirán los componentes del equipo, (Figura 3.4):

- A. Cronómetro
- B. Fuente de alimentación externa
- C. Acumulador de agua
- D. Mangueras de conexión
- E. Electrolizador
- F. Pila de combustible
- G. Consumidor (casa con dos lámparas)
- H. Agua destilada
- I. USB-Data Monitor
- J. Cable USB

K. PC o laptop con software instalado

L. Cables: negro, rojo

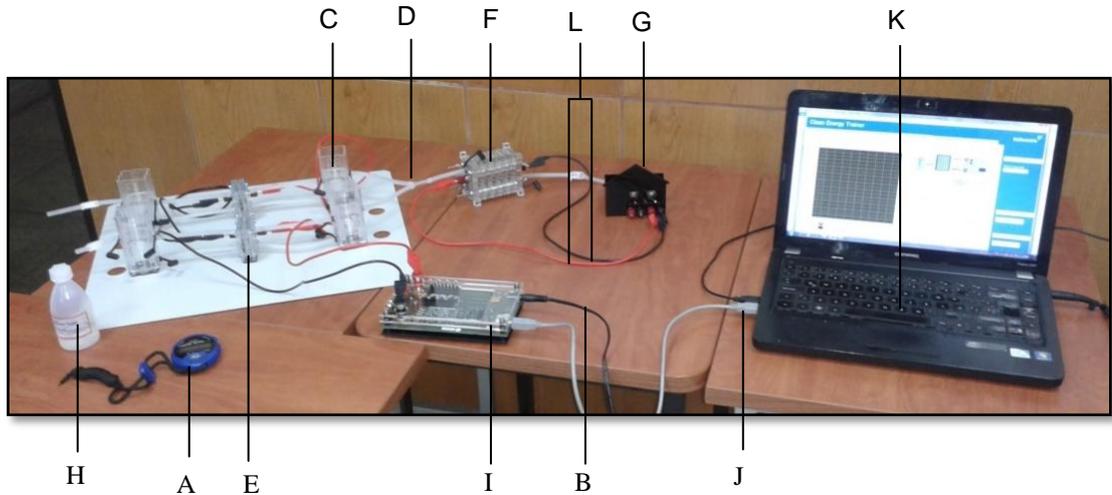


Figura 3. 4: Sistema de electrólisis con pila de combustible

3.3.1 Cronómetro

Es un reloj de gran precisión que permite medir intervalos de tiempos muy pequeños hasta fracciones de segundos, se utilizará para medir el tiempo que empieza y dura el proceso de electrólisis, (Figura 3.5).



Figura 3. 5: Cronómetro

3.3.2 Fuente de alimentación externa

Es un adaptador que transforma la corriente alterna a continua y disminuye el voltaje de 110V a 6V, esta cantidad de voltaje se utilizará para realizar la práctica de electrólisis, (Figura 3.6).

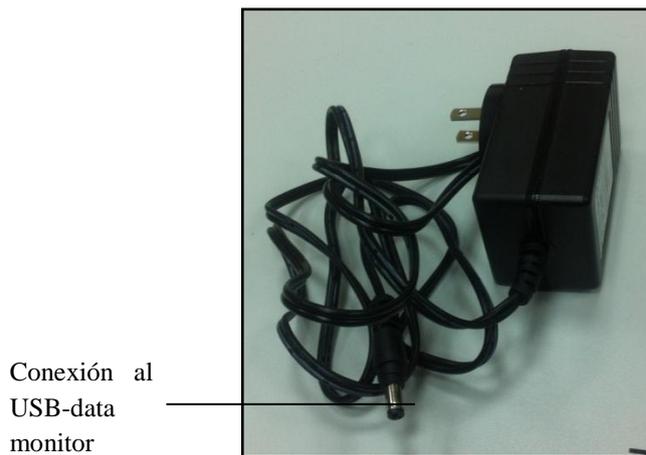


Figura 3. 6: Fuente de alimentación externa

3.3.3 Acumulador de agua

En los acumuladores se almacenan el hidrógeno y el oxígeno generados por el electrolizador, están contruidos de polietileno con entradas y salidas para los gases del proceso, estos acumuladores almacenan hasta 5cm³ de oxígeno o hidrógeno, el hidrogeno pasa a la pila de combustible y el oxígeno queda almacenado, (Figura 3.7).



Figura 3. 7: Acumulador

3.3.4 Mangueras de conexión

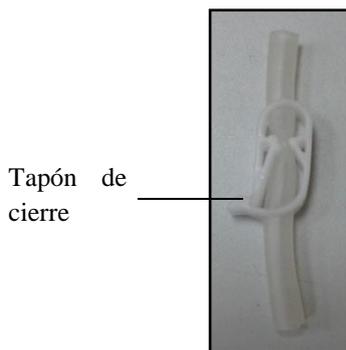
Son las encargadas de transportar los gases del proceso de electrolización; están contruidas de polietileno expandido, (Figura 3.8).



Figura 3. 8: Mangueras de conexión

3.3.5 Tapones de cierre

El tapón de cierre permite o impide el paso de fluidos y gases (hidrógeno y oxígeno), (Figura 3.9).



Tapón de cierre

Figura 3. 9: Tapón de cierre

3.3.6 Electrolizador

El electrolizador recibe la energía eléctrica generada del módulo solar, generador eólico o una alimentación externa y con esta descompone el agua en hidrogeno y oxígeno, están construidas con marcos de acrílico transparente que constituyen el elemento estructural de la celda electrolítica, en su interior poseen dos electrodos un ánodo (+) y un cátodo (-). Producen 5cm^3 de hidrogeno y 2.5cm^3 de oxígeno, su tensión máxima admisible es de 2V, (Figura 3.10-3.11).

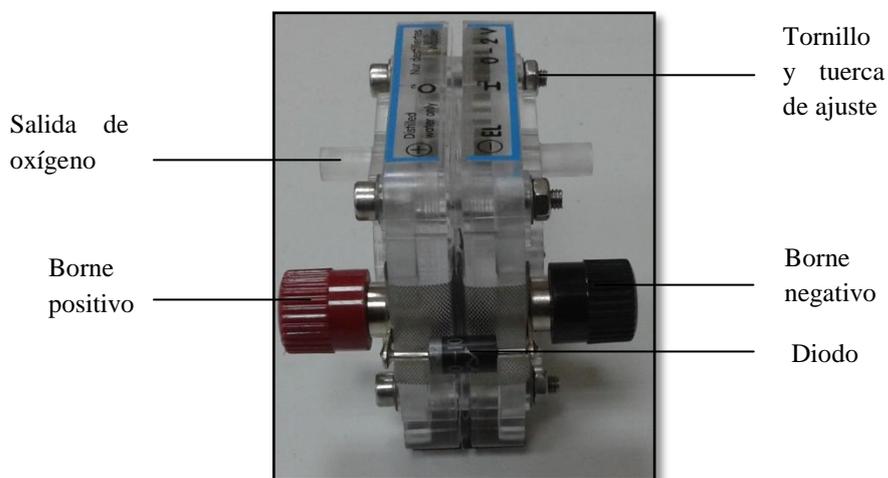


Figura 3. 10: Electrólito



Figura 3. 11: Electrólito vista lateral derecha

3.3.7 Pila de combustible

La pila de combustible convierte hidrógeno en energía eléctrica y puede ser utilizada por el consumidor. Está compuesta de 5 celdas que se pueden desmontar. Esto permite representar distintos niveles de potencia, su potencia máxima es de 1W y por celda es de 200mW, la tensión por celda es de 0.4V hasta 0.96V, tiene un peso de 430g. (Figura 3.12).



Figura 3. 12: Pila de Combustible

3.3.8 Consumidor (casa con dos bombillas)

Su principal función es consumir la energía eléctrica producida por la pila de combustible, está construida de una lámina de polímero y lamina de metal, en el cual están instaladas dos bombillas de 6V, en la parte frontal se encuentran las entradas de alimentación el rojo positivo y el negro negativo, (Figura 3.13)

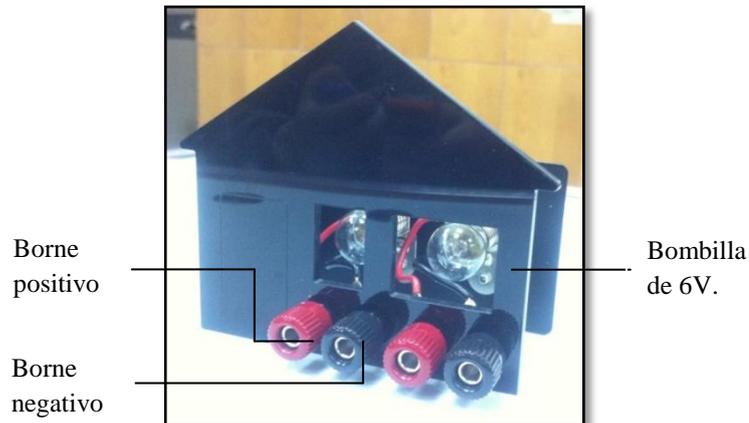


Figura 3. 13: Consumidor

3.3.9 Agua destilada

El agua destilada viene del proceso de destilación mediante el cual ha sido purificada, es decir se han eliminado las impurezas e iones este proceso ayuda a proteger el electrolizador, (Figura 3.14)



Figura 3. 14: Agua destilada

3.3.10 USB-Data Monitor

Se puede utilizar como aparato de medición, simulador de fuente y de sumidero, así como fuente de tensión continua, es el interfaz entre el electrolizador y pila de

combustible con el computador, posee una carga externa de 6V, un cable USB con conexión al PC y dos terminales como periféricos de entrada y salida de datos, (Figura 3.15).

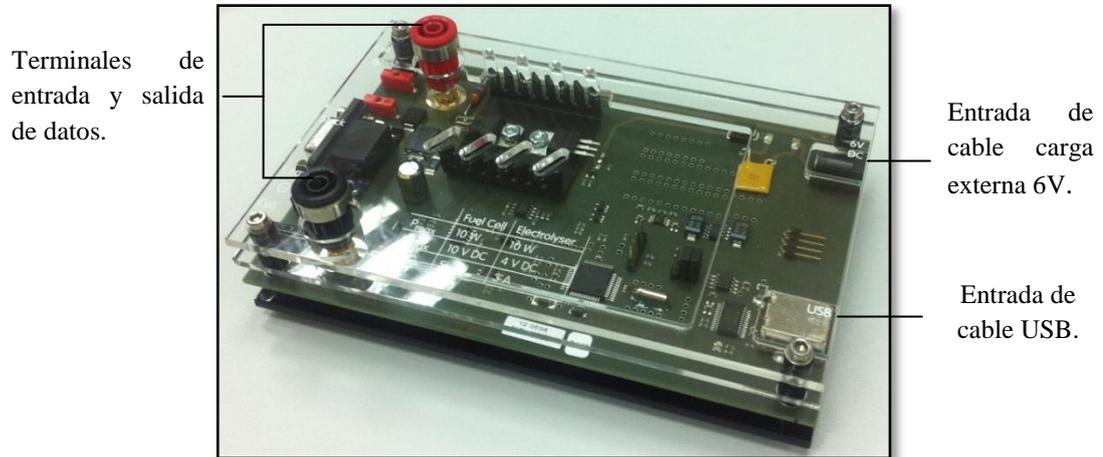


Figura 3. 15: USB-Data monitor

3.3.11 Cables rojos y negros

Cables (bananas) se utilizaran para conectar del generador eólico al USB-Data monitor, (Figura 3.16 – 3.17).



Figura 3. 16: Cables Rojos y Negros

3.4 Variables del sistema.

Las variables a considerar son:

- Tensión de electrolización
- Tiempo de electrolización
- Alimentación de hidrogeno a la pila de combustible

3.4.1 Tensión de electrolización.

Se considera una variable ya que la electrólisis empieza con un determinado voltaje, el cual es de 1,5V; antes de eso no ocurre ninguna reacción. Cuando la tensión logra separar el agua en hidrógeno y oxígeno se visualiza un burbujeo esto representa una señal visual de que el proceso empezó, una vez que aumenta el voltaje el burbujeo se acelera y la separación del agua es mucho más rápida.

3.4.2 Tiempo de electrolización.

Otra variable es el tiempo, mientras más tiempo se suministra voltaje al electrólito se produce más hidrógeno y oxígeno, para las prácticas en el equipo esta variable es importante ya que nos permite controlar la cantidad de volumen.

3.4.3 Alimentación de hidrógeno a la pila de combustible

Esta variable es muy importante ya que sin hidrógeno la pila no produce electricidad, es por eso que se debe tener una cantidad almacenada de hidrógeno, además este combustible se consumirá mientras la pila está en funcionamiento, es necesario tener una alimentación continua para tener electricidad en la carga todo el tiempo.

3.5 Manejo del Software.

En esta sección analizara el uso del software para el análisis de tensión y corriente de un electrolizador

Pasos para el uso del software, sistema de electrolizador.

- a) Conectamos el USB- data monitor a la Pc., (Figura 3.18).



Figura 3. 17: Conexión del USB-Monitor

- b) Iniciamos el software Clean Energy Trainer

- c) Esperamos a que el software reconozca el USB-data monitor
- d) En la pantalla se visualizara una ventana que indica que debemos juntar las bananas, provocando cortocircuito y pulsamos OK, (Figura 3.19-3.20).



Figura 3. 18: Conexión en cortocircuito del software

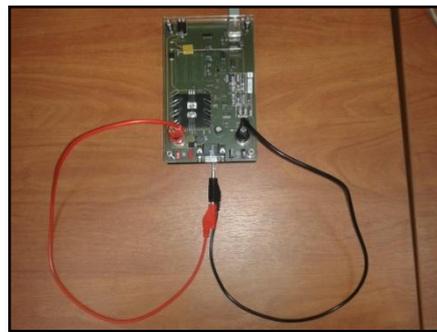


Figura 3. 19: conexión en cortocircuito real

- e) En la parte superior del software se indica el tipo de sistema a analizar y se selecciona en la pestaña electrolizador, (Figura 3.22).

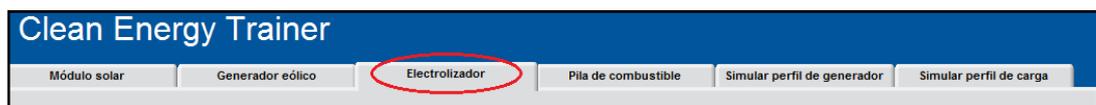


Figura 3. 20: Selección de sistema

- f) Se visualizará una ventana la indica conectar el electrolizador, (Figura 3.23).



Figura 3. 21: Mensaje de conexión del electrolizador

- g) Procedemos a conectar el electrolizador, (Figura 3.24).

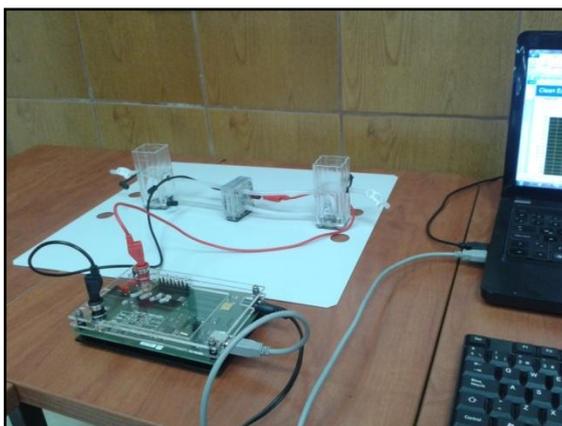


Figura 3. 22: Conexión del electrolizador al USB-data monitor

- h) En la parte derecha se tiene una opción donde se indica el modo de operación, en la cual se selecciona modo manual o automático y a su vez se puede dar la corriente con un rango de 0 a 5000 mA, (Figura 3.25).

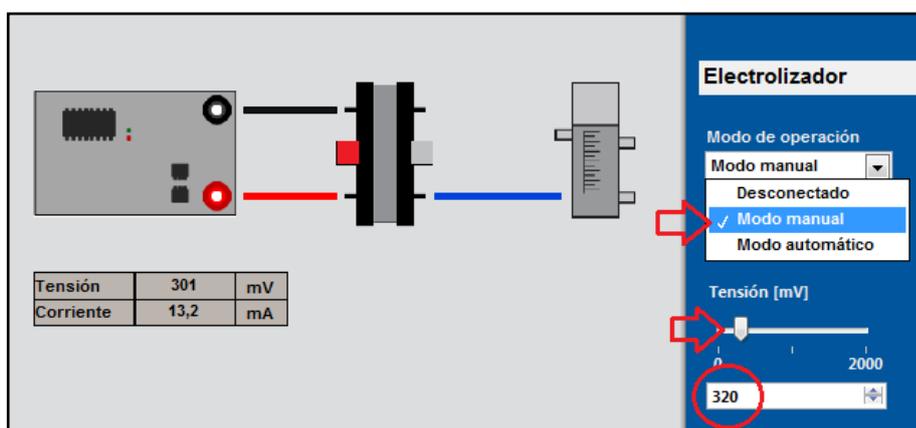


Figura 3. 23: Selección de modo de operación del sistema

- i) Una vez seleccionada la operación manual o automático el software registra datos en el cuadro de corriente, tensión y por medio de las opción insertar se procede a guardar los datos, (Figura 3.26).

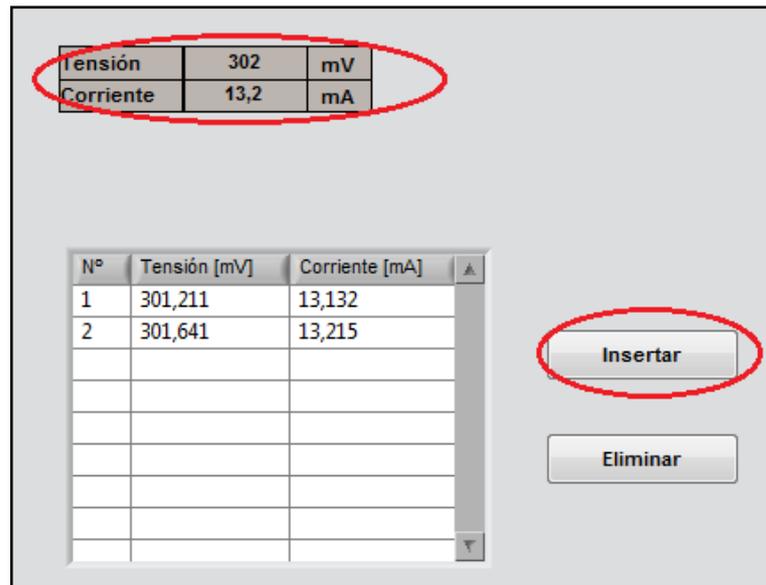


Figura 3. 24: Registro de datos de corriente y tensión

- j) Para graficar la curva de potencia se selecciona en la opción “*grafico de potencia*”, (Figura 3.27)

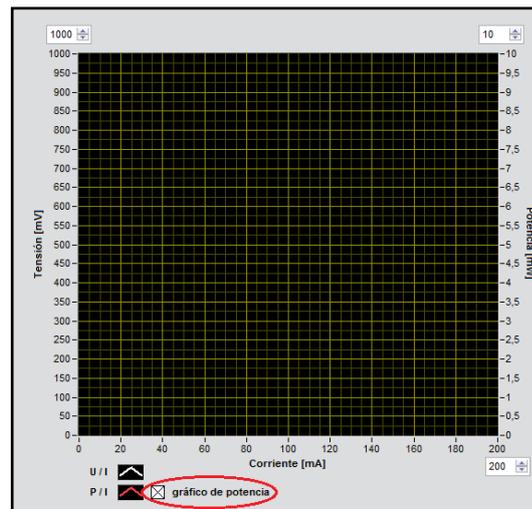


Figura 3. 25: Gráfico de curva de potencia

- k) Una vez registrados e insertados los datos de corriente y tensión se pulsa en la opción guardar de esta manera los datos se guardaran en un archivo que posteriormente se abre en Excel finalmente se pulsa en terminar para cerrar el programa Clean Energy Trainer, (Figura 3.28).

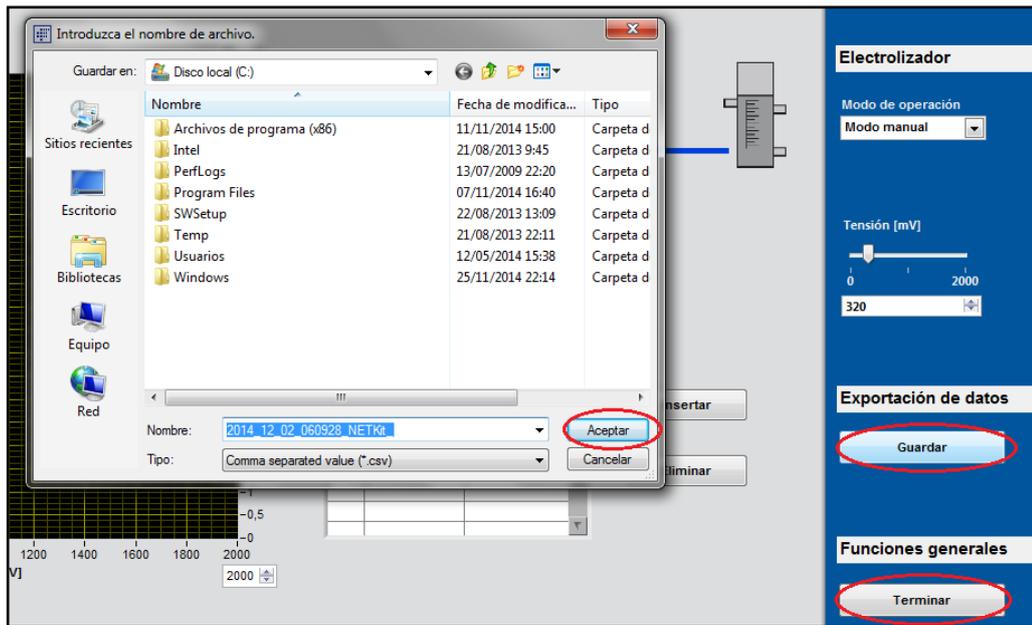


Figura 3. 26: Guardado de registro de datos

Pasos para el uso del software, sistema de **Pila de combustible**.

- a) Seguimos los mismos pasos a, b, c, d, e del electrolizador
- b) En la parte superior del software se indicara el tipo de sistema a analizar y se selecciona en la pestaña pila de combustible, (Figura 3.29).



Figura 3. 27: Selección de la opción de pila de combustible

- c) Se visualizará una ventana en el cual nos indica conectar la pila de combustible, (Figura 3.30).

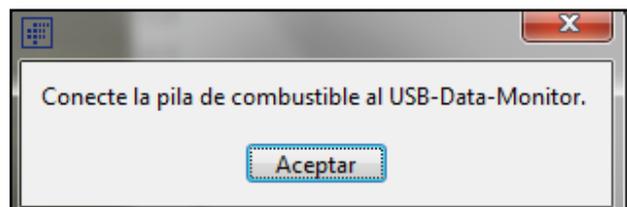


Figura 3. 28: Mensaje de conexión de la pila de combustible

d) Se procede a conectar la pila de combustible, (Figura 3.31).

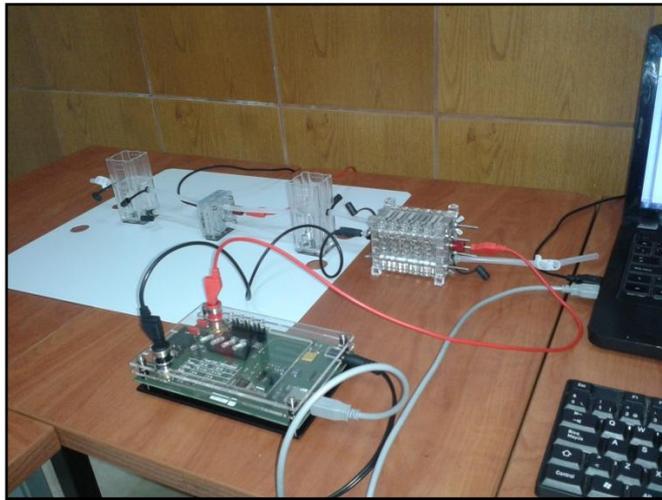


Figura 3. 29: Conexión de la pila de combustible al USB-data monitor

e) En la parte derecha hay una opción donde se indica el modo de operación, en la cual se selecciona modo manual o automático y a su vez se puede dar la corriente donde tenemos un rango de 0 a 5000 mA, (figura 3.32).

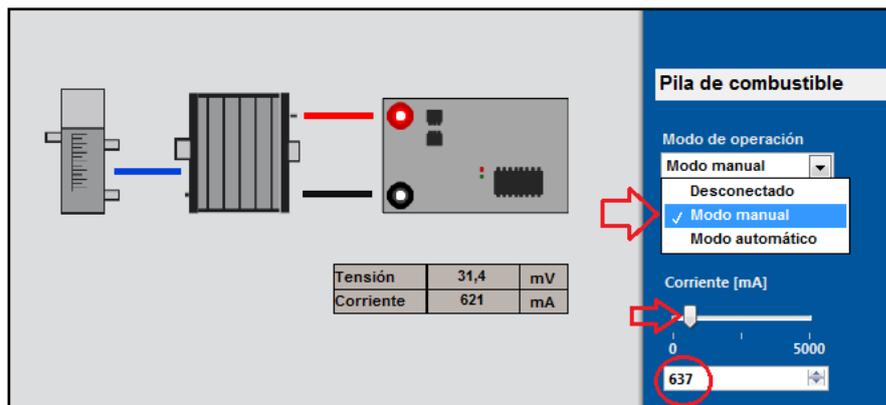


Figura 3. 30: Selección de modo de operación del sistema

f) Una vez seleccionada la operación manual o automático el software registra los datos en el cuadro de corriente, tensión y por medio de las opción insertar se guarda los datos, (Figura 3.33).

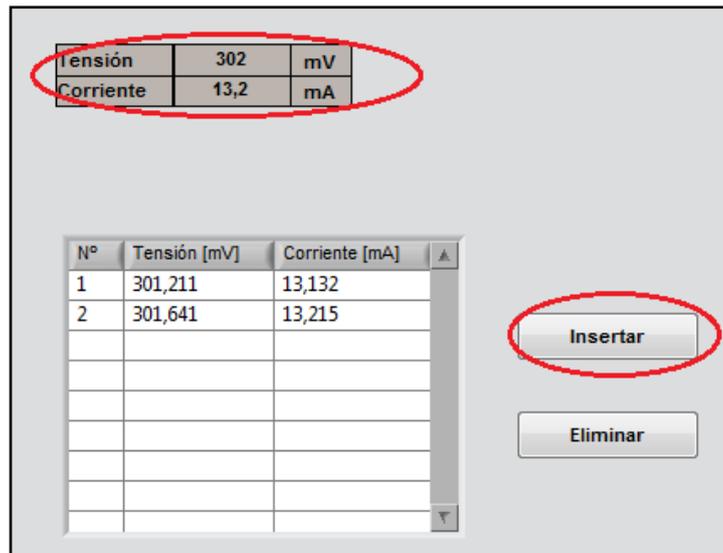


Figura 3. 31: Registro de datos de corriente y tensión

g) Para graficar la curva de potencia se selecciona en la opción “*grafico de potencia*”, (Figura 3.34)

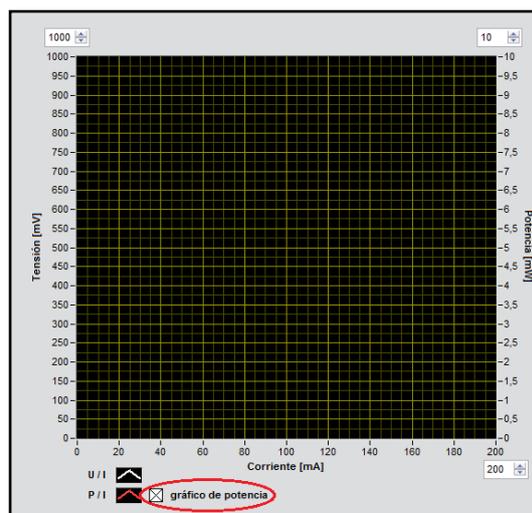


Figura 3. 32: Gráfico de curva de potencia

h) Una vez registrados e insertados los datos de corriente, tensión se pulsa en la opción guardar de esta manera los datos se guardaran en un archivo que se abre en Excel finalmente se pulsa en terminar para cerrar el programa Clean Energy Trainer, (Figura 3.35).

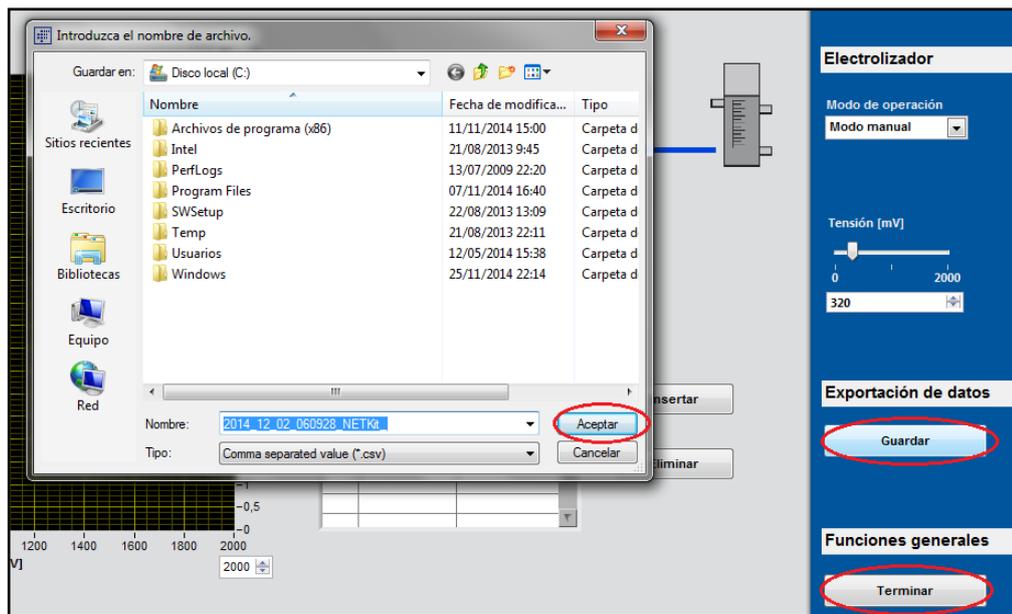


Figura 3. 33: Guardado de registro de datos

3.6 Prácticas con el equipo.

El desarrollo presentado a continuación está realizado con prácticas reales en el equipo, cuyo esquema se muestra a continuación:

- Objetivos.
- Fundamento teórico.
- Esquema.
- Materiales a utilizar en las prácticas.
- Instrucciones de cómo usar el equipo.
- Desarrollo; que contiene fotos, gráficas, cálculos y tablas para la comparación de resultados.
- Cuestionarios; que contiene preguntas sobre el experimento, generales y de comprensión.
- Conclusiones y bibliografías.

Estas prácticas pertenecen al docente o instructor de prácticas y cada ítem antes mencionado está resuelto, de manera que los valores sirvan de guía para los estudiantes al momento de realizar sus prácticas.

PRACTICA N°	TIEMPO ESTIMADO	TEMA	INTEGRANTES
1	30 min	SEPARACIÓN DEL AGUA E HIDRÓGENO MEDIANTE LA ELECTRÓLISIS	_____ _____ _____

1. OBJETIVOS

- Entender el proceso de la electrólisis, como se utiliza y su finalidad.
- Determinar a partir de que voltaje empieza el proceso de la electrólisis.
- Medir la y determinar todas las variables que influyen en el proceso de electrólisis.
- Obtener hidrógeno a partir de varios puntos de voltaje, medir la corriente y calcular la potencia.
- Determinar gráficamente el comportamiento de la electrólisis
- Determinar cuánto tiempo tarda en producir determinados volúmenes de hidrógeno por medio de la electrólisis.
- Realizar una gráfica explicando el comportamiento del proceso.
- Calcular e interpretar los resultados del rendimiento energético de un electrolizador.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

¿Qué es la electrólisis?

La electrólisis es el proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad, aplicando una corriente eléctrica continua mediante un par de electrodos conectados a una fuente de alimentaciones eléctricas y sumergidas en la disolución. El electrodo conectado al polo positivo se conoce como ánodo y el conectado al negativo como cátodo. Cada electrodo atrae a los iones de carga opuesta. Así, los iones negativos, o aniones son atraídos y se desplazan hacia el ánodo (electrodo positivo), mientras que los iones positivos, o cationes, son atraídos y se desplazan hacia el cátodo (electrodo negativo). La energía necesaria para separar a los iones e incrementar su concentración en los electrodos es aportada por la fuente de alimentación eléctrica. En definitiva lo que ocurre es una reacción de oxidación - reducción, donde la fuente de alimentación eléctrica se encarga de aportar la energía necesaria. [1]

Electrólisis del agua

La electrólisis del agua es la descomposición de agua (H_2O) en los gases oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2) por medio de una corriente eléctrica a través del agua. Una fuente de energía eléctrica se conecta a dos electrodos. [2]

Utilidad de la electrólisis

- Producción de aluminio, litio, sodio, potasio, y magnesio.
- Producción de hidróxido de sodio, ácido clorhídrico, clorato de sodio y clorato de potasio.
- Producción de hidrógeno con múltiples usos en la industria: como combustible, en soldaduras, etc.
- La electrólisis de una solución salina permite producir hipoclorito (cloro): este método se emplea para conseguir una cloración ecológica del agua de las piscinas.
- La electrometalurgia es un proceso para separar el metal puro de compuestos usando la electrólisis. Por ejemplo, el hidróxido de sodio es separado en sodio puro, oxígeno puro e hidrógeno puro.
- La anodización es usada para proteger los metales de la corrosión.
- La galvanoplastia, también usada para evitar la corrosión de metales, crea una película delgada de un metal menos corrosible sobre otro metal. [3]

Aspectos a tener en cuenta

- Siempre debe utilizarse corriente continua como por ejemplo energía de baterías o de adaptadores de corriente, nunca corriente alterna como la energía obtenida del enchufe de la red.
- La electrólisis debe hacerse de tal manera que los dos gases desprendidos no entren en contacto, de lo contrario producirían una mezcla peligrosamente explosiva ya que el oxígeno y el hidrógeno resultantes se encuentran en proporción estequiometría.
- Una manera de producir agua otra vez, es mediante la exposición a un catalizador.
- El parámetro para ingresar a un catálogo y seleccionar el electrolizador adecuado es únicamente el flujo volumétrico de hidrógeno deseado a la salida del sistema [3]

*Rendimiento energético de un
electrolizador.*

El rendimiento nos permite saber la eficiencia del proceso para ello relacionamos la energía del hidrógeno producido, con la energía eléctrica suministrada de una fuente de corriente continua.

La fórmula utilizada es la siguiente:

$$\eta_{\text{energéticoElectrolizador}} = \frac{E_{\text{hidrógeno}}}{E_{\text{eléctrico}}} = \frac{V_{H_2} * H_u}{U * I * t} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

V_{H_2} : Volumen generado de hidrógeno en m^3

H_u : Valor calorífico inferior del hidrógeno = $\frac{9,9 \times 10^{-6} J}{m^3}$ [4]

3. ESQUEMA

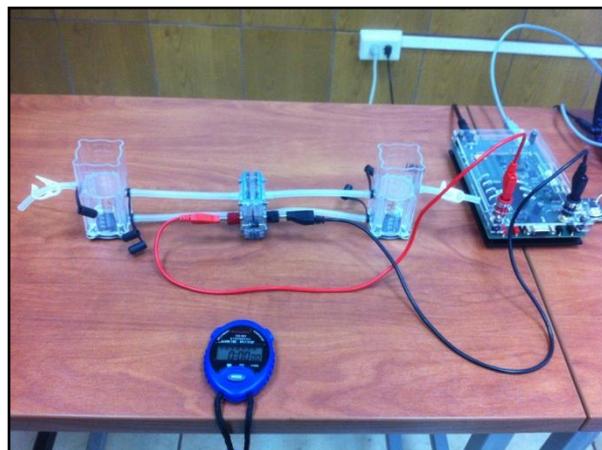


Figura 1: Esquema

4. MATERIALES

1 Electrolizador	Agua destilada
2 Acumuladores	2 cables: 1 negro, 1 rojo
6 Mangueras	Fuente de alimentación externa variable
2 Tapones de cierre	Cronómetro

Tabla 1: Materiales

5. INSTRUCCIONES

- Arme la configuración de ensayo según lo mostrado en la figura 1.
- Llene ambos acumuladores con agua destilada hasta la marca de 0 cm³.
- Cierre las salidas de los acumuladores con los tapones de cierre.
- Ajustar la tensión a 2V.

Experimento 1

- Anotar la cantidad de hidrógeno y oxígeno generada en los siguientes momentos: 1, 2, 3, 4,5 minutos.
- Al concluir con la práctica volver a llenar los acumuladores con agua destilada hasta la marca de 0 cm³.
- Ir aumentando la tensión cada 0,2V y anotar los valores de corriente
- Anotar a partir de que tensión el agua se descompone en hidrógeno y oxígeno y anotar los valores

Experimento 2

- Aumente la tensión según lo indicado en la siguiente tabla e introduzca los valores de corriente.

U [V]	I [A]	P [W]	U [V]	I [A]	P [W]	U [V]	I [A]	P [W]
0			1,5			1,8		
0,8			1,6			1,9		
1,2			1,7			2		

- Grafique la curva característica de corriente y tensión
- Grafique la curva característica de potencia y tensión

Experimento 3

- Ajuste la tensión a 1,8V e inicie inmediatamente la medición del tiempo.

Volumen de hidrógeno [cm ³]	5	10	15	20	25	30
Tiempo [s]						

- Introduzca los valores en un diagrama de volumen y tiempo.
- Calcule el rendimiento energético del electrolizador.

6. DESARROLLO

EXPERIMENTO 1

Observación de las características del agua en la electrólisis

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE CORRIENTE [mA] DEL SOFTWARE, HIDRÓGENO [cm³] Y OXÍGENO [cm³] LEIDOS DEL ACUMULADOR

Tiempo [min]	Corriente [mA]	Hidrogeno [cm ³]	Oxigeno [cm ³]
1	460	4,5	1
2	477	7	4
3	487,8	13	6
4	500	18	9
5	509	23	11

Tabla 2: Datos adquiridos del experimento

¿A partir de que tensión empieza el agua a descomponerse en hidrógeno y oxígeno?

Tensión de 0V. incrementando hasta 2V. en la fuente

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE CORRIENTE [mA] DEL SOFTWARE, Y ANOTE SUS OBSERVACIONES

Tensión [V]	Corriente [A]	Observación
0	0,014	no hay burbujas
0,2	0,014	no hay burbujas
0,4	0,014	no hay burbujas
0,6	0,014	no hay burbujas
0,8	0,014	no hay burbujas
1	0,014	no hay burbujas
1,2	0,014	no hay burbujas
1,4	0,014	no hay burbujas
1,6	0,08	empieza a burbujear
1,8	0,306	producción acelerada de H ₂
2	0,483	producción acelerada de H ₂

Tabla 3: Datos adquiridos del experimento

EXPERIMENTO 2

Determinación de una curva característica de un electrolizador

¿Cómo se desarrollan las curvas características del electrolizador?

Aumente la tensión según lo indicado en la siguiente tabla e introduzca los valores de corriente

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE TESIÓN [V], CORRIENTE [A] Y POTENCIA [W] DEL SOFTWARE		
Tensión [V]	Corriente [A]	Potencia [W]
0	0,01313	0
0,8	0,01313	0,010504
1,2	0,01313	0,015756
1,5	0,01321	0,019815
1,6	0,01305	0,02088
1,7	0,07621	0,129557
1,8	0,30078	0,541404
1,9	0,40043	0,760817
2	0,47449	0,94898

Tabla 4: Datos adquiridos del experimento

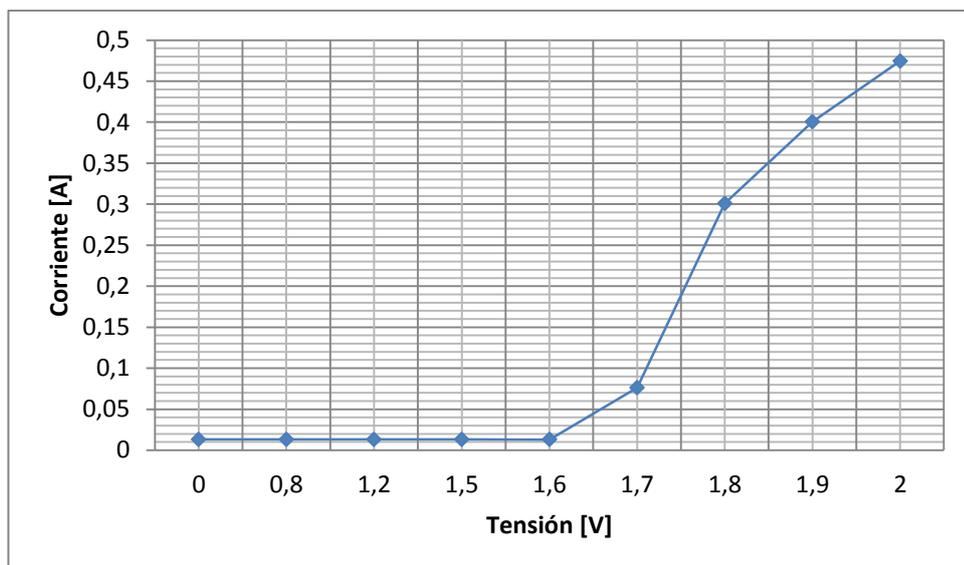


Gráfico 1: Curva característica de corriente y tensión

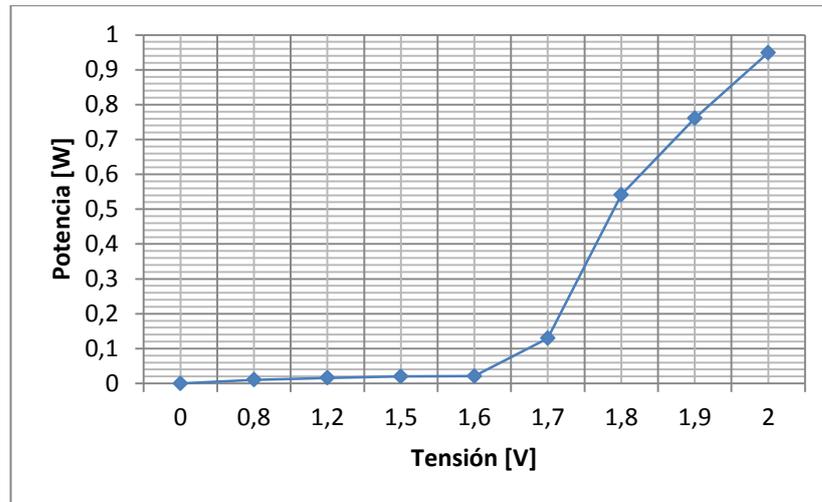


Grafico 2: Curva característica de potencia y tensión

EXPERIMENTO 3

Cálculo del rendimiento de un electrolizador

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES DE TIEMPO EN SEGUNDOS						
Volumen de hidrógeno [cm ³]	5	10	15	20	25	30
Tiempo [s]	155,4	365,4	570	754,8	912	1109,4

Tabla 5: Datos adquiridos del experimento

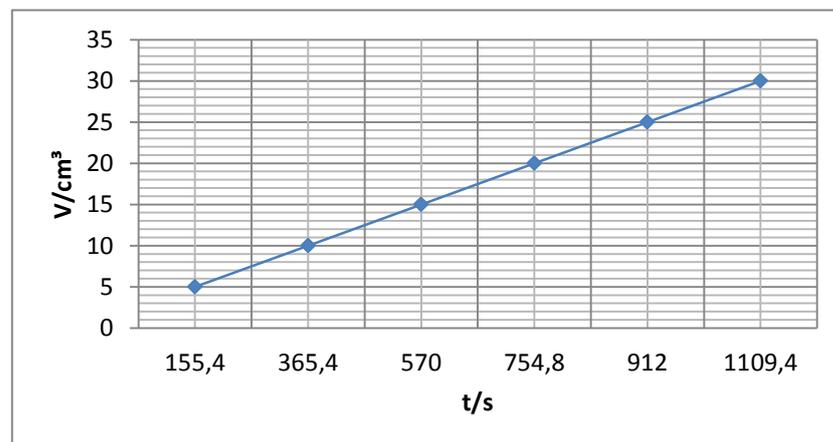


Grafico 3: Diagrama volumen – tiempo

CÁLCULOS

Rendimiento Energético:

$$n_{energéticoElectrolizador} = \frac{E_{hidrógeno}}{E_{eléctrico}}$$

$$n_{energéticoElectrolizador} = \frac{V_{H_2} * H_u}{U * I * t} \text{ (Ecuación 1)}$$

$$n_{energéticoElectrolizador} = \frac{0.00003 \text{ cm}^3 * \left(\frac{9.9 * 10^6 \text{ J}}{\text{m}^3} \right)}{1.8 \text{ V} * 0.16 \text{ A} * 1109.4 \text{ S}}$$

$$n_{energéticoElectrolizador} = 0.929 = 92.9\%$$

7. CUESTIONARIO

PREGUNTAS SOBRE EL EXPERIMENTO

1. *¿Bastaría la cantidad de hidrógeno generada durante el experimento para causar una explosión?*

Sí; se puede producir una pequeña reacción de gas detonante.

2. *¿Por qué se ha generado el doble de hidrógeno que de oxígeno?*

Porque el agua contiene dos átomos de hidrógeno por cada átomo de oxígeno.

3. *Es constante la producción de hidrógeno y oxígeno en una electrólisis.*

Sí, si la corriente suministrada (y la tensión suministrada) se mantiene constante.

4. *¿A partir de qué tensión empieza a fluir corriente en el electrolizador?*

Desde que inicia el proceso de electrólisis ya tenemos corriente medida, con tensión de 0V y corriente de 0,013A.

5. *¿Qué se puede determinar mediante el diagrama de volumen y tiempo?*

Mediante el diagrama de volumen y tiempo se puede determinar cuánto hidrógeno se genera con una cantidad de corriente constante en un tiempo determinado; se puede observar que el aumento del volumen es directamente proporcional al tiempo.

6. *¿Por qué es importante conocer el rendimiento de un electrolizador?*

Los rendimientos informan básicamente sobre la eficiencia de procedimientos y aplicaciones, las consideraciones del rendimiento permiten realizar comparaciones directas entre distintas aplicaciones y procedimientos.

7. *¿Qué influencia tiene la presión ambiente en la generación de hidrógeno?*

La presión ambiente influye inmediatamente en la generación de gas, los gases generados tienen que salir del líquido en contra de la presión ambiente, con relación a la corriente se produce siempre la misma cantidad de hidrógeno; sin embargo, al aumentar la presión ambiente se necesita aplicar una tensión más alta para impulsar la misma corriente.

PREGUNTAS GENERALES

8. *¿Cómo se denomina la disgregación de un líquido conductor al aplicar una tensión?*

Este proceso se denomina como electrólisis. [5]

9. *¿Cuándo se descubrió la electrólisis?*

La electrólisis fue descubierta en el año 1800 por Alessandro Volta. [6]

10. *¿Es peligroso el hidrógeno?*

El hidrógeno es inflamable y puede producir explosiones junto con oxígeno, todos los portadores de energía se tienen que utilizar con la debida precaución. El hidrógeno no es tóxico. [7]

11. *¿A partir de qué se puede obtener hidrógeno? ¿Existen varias posibilidades?*

Se puede obtener hidrógeno a partir del agua mediante la electrólisis. A partir de hidrocarburos por reforming a vapor, mediante el proceso de Kvaerner, la electrólisis cloro-álcali, procedimientos termoquímicos o procesos fotobiológicos por algas. [8]

12. *¿Qué es el agua destilada?*

El agua destilada es agua pura (H₂O) sin impurezas, el agua destilada ha sido convertida primero en vapor de agua y condensada a continuación, durante este proceso se retienen todas las sustancias extrañas en el recipiente intermedio este proceso de destilado es agua pura. [9]

13. *¿Existen otras aplicaciones para la electrólisis?*

La electrólisis se utiliza principalmente para la obtención de gases halógenos (p. ej. cloro), así como de metales comunes como sodio o aluminio (electrólisis en estado de fusión). [10]

14. *¿Qué es el rendimiento energético?*

El rendimiento energético describe la relación entre la energía útil generada y la energía empleada. [11]

PREGUNTAS DE COMPRENSIÓN

15. *¿Qué ocurre exactamente durante una electrólisis?*

En la electrólisis se disgrega un electrólito (éste puede ser sólido o líquido o consistir de una masa fundida) mediante la aplicación de una tensión eléctrica, en el cátodo (polo negativo, reducción) se separan hidrógeno y metales nobles; se descargan cationes, en el ánodo (polo positivo, oxidación) se separan oxígeno y cloro (en soluciones que contienen cloruro). En el ánodo se descargan los aniones.

16. *¿Por qué el hidrógeno es combustible, pero no el agua, a pesar de que el agua contenga aún más oxígeno?*

Una combustión es una oxidación. Al oxidar hidrógeno se forma agua. Por lo tanto, el agua ya es el producto de la combustión de hidrógeno.

17. *¿Qué ventajas presenta el hidrógeno frente al gas natural?*

- El hidrógeno tiene una mayor energía interna. En la combustión de hidrógeno no se generan productos contaminantes.
- El hidrógeno no es tóxico, CO₂ neutral y un portador de energía reversible.

18. *¿El agua destilada es conductiva?*

No, la conductancia del agua destilada es despreciable. El agua sólo se convierte en conductor eléctrico con la adición de iones.

19. *¿La electrólisis necesita tensión continua o alterna?*

La electrólisis necesita tensión continua. Con una tensión alterna, la polaridad de los electrodos cambiaría constantemente y no sería posible la carga uniforme del ánodo y del cátodo.

8. CONCLUSIONES

Que puede concluir usted con respecto a los diferentes tiempos en los que ocurre la electrólisis:

Cuando empieza la electrólisis y pasa un minuto ya ha empezado la separación del agua teniendo como resultados que los valores en cm³ del hidrógeno son mayores que los del oxígeno, con una relación del doble. A los dos minutos y en adelante existe de igual manera más obtención de hidrógeno pero con una relación mayor al doble, esto se debe a que hay dos moléculas de hidrógeno por cada una de oxígeno.

En cuanto a la corriente varía muy poco, desde 0,28A al primer minuto, hasta 0,31A al quinto minuto.

Que puede concluir usted con respecto a la tensión en la que empieza el proceso de la electrólisis:

Al conectar la fuente externa de corriente continua al electrolizador se varían los voltajes hasta llegar al punto en que empieza la electrólisis, de 0,2 a 1,2V no ocurre ningún proceso visible, pero a partir de 1,4V empieza un burbujeo lo cual indica que la separación del agua inició, la producción de hidrógeno se acelera desde este valor de voltaje hasta llegar a los 2V.

¿Qué puede concluir usted con respecto al comportamiento de la potencia en la electrólisis?

El comportamiento de la potencia aumenta conforme la tensión pasa los 1,5V; es un crecimiento exponencial hasta llegar a aproximadamente 1W. Los valores más altos se registran desde 1,8 a 2V; el comportamiento de la potencia es proporcional al de la corriente.

¿Qué puede concluir usted de la descomposición de hidrógeno y oxígeno del agua con respecto tiempo vs volumen de hidrogeno?

A medida que se pasa tensión de 1.8V en el electrolizador hasta llegar a 5cm³ de medición en el acumulador de agua, observamos que siempre se va a generar más hidrógeno que oxígeno debido a que el agua contiene dos átomos de hidrógeno por cada átomo de oxígeno.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MAMNET, “*Tratamiento del agua natural: que es la electrólisis*”, España, [en línea] >
<http://www.tecnicat.com/index.php?s=%C2%BFQu%C3%A9+es+la+electr%C3%B3lisis%3F&id=4&idIdioma=1>
- [2] SANCHEZ J. “*Electrólisis*” Marzo 2012, [en línea] >
http://es.slideshare.net/julolisapa/electrolisis-1-12149800?next_slideshow=1
- [3] “*Electrólisis y pilas*”, [en línea] > <http://www.quimicayalgomas.com/quimica-general/electrolisis-y-pilas/>
- [4] (2011). *Clean Energy Trainer Manual de experimentación*. Berlin Alemania
- [5] A. Madrid, *Energías renovables fundamentos, tecnologías y aplicaciones: solar, eólica, biomasa, geotérmica, hidráulica, pilas de combustible, cogeneración y fusión nuclear*. Madrid: AMV Ediciones Mundiprensa, 2009.
- [6] “*Electrólisis*”, Pontificia Universidad Javeriana [en línea] >
<http://pioneros.puj.edu.co/cronos/crono3/sigloprogreso/electrolisis.htm>
- [7] MENDEZ A. “*Obtención del hidrógeno*”, junio de 2010, [en línea] >
<http://quimica.laguia2000.com/general/obtencion-del-hidrogeno>

[8] “Electrólisis” LENNTECH, España, México, EEUU, Chile, Perú, Argentina, Holanda, [en línea] > <http://www.lenntech.es/electrolisis.htm>

[9] “*Agua destilada*” Ecured, Chile, [en línea] > http://www.ecured.cu/index.php/Agua_destilada

[10] MENDEZ A. “*Aplicaciones industriales de la electrolisis*”, Agosto 2013, [en línea] > <http://quimica.laguia2000.com/metalurgia/aplicaciones-industriales-de-la-electrolisis>

[11] A. Vian, *Introducción a la Química Industrial*. Barcelona; Editorial Reverté, 2006

PRACTICA N°	TIEMPO ESTIMADO	TEMA	INTEGRANTES
2	2 h	COMPORTAMIENTO Y FUNCIONAMIENTO DE UNA PILA DE COMBUSTIBLE	_____ _____ _____

1. OBJETIVOS

- Entender cómo funciona la pila de combustible.
- Analizar el comportamiento y utilidad del hidrógeno en la pila de combustible.
- Medir y anotar consumo de hidrógeno vs tiempo.
- Medir los valores de corriente y tensión en la pila de combustible y graficar los resultados.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

¿Qué es la pila de combustible?

Una pila de combustible, también llamada célula o celda de combustible es un dispositivo electroquímico que transforma de forma directa la energía química en eléctrica. Es similar a una batería.

Se diferencia de la batería en que puede tener alimentación continua de los reactivos y en que sus electrodos son catalíticos y relativamente estables. [1]

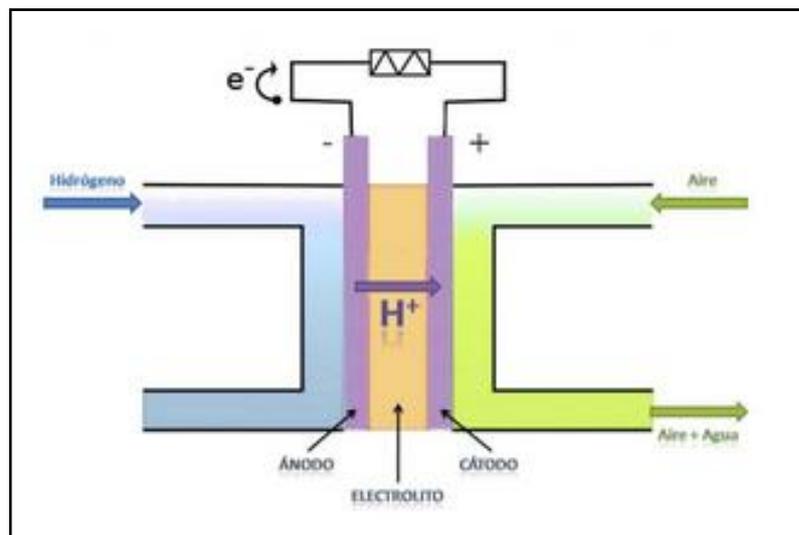


Figura 1. Esquema de la pila de combustible

Tiene diversas partes:

- Electrodo (ánodo, donde se reduce el H_2 y cátodo, donde reacciona H^+ y O_2)
- Electrolito (separa los gases, permite el paso de iones H^+ al cátodo y separa los e^-)
- Placas bipolares (que separan las celdas, “conducen” los gases y evacúan H_2O)

En el lado del ánodo, el hidrógeno que llega se disocia en protones y electrones. Los protones son conducidos a través de la membrana al cátodo, pero los electrones están forzados a viajar por un circuito externo (produciendo energía) ya que la membrana está aislada eléctricamente. En el catalizador del cátodo, las moléculas del oxígeno reaccionan con los electrones (conducidos a través del circuito externo) y protones para formar el agua. En este caso, el único residuo es vapor de agua o agua líquida. [1]

Aplicaciones

Las pilas de combustible comprenden una amplia variedad de aplicaciones: desde dispositivos portátiles (ordenadores, teléfonos móviles, pequeños electrodomésticos), vehículos de todo tipo (coches, autobuses, barcos), hasta sistemas estacionarios de generación de calor y energía para empresas, hospitales, zonas residenciales, etc.

Las celdas de combustible son muy útiles como fuentes de energía en lugares remotos, como por ejemplo naves espaciales, estaciones meteorológicas alejadas, parques grandes, localizaciones rurales, y en ciertos usos militares. Un sistema con celda de combustible que funciona con hidrógeno puede ser compacto, ligero y no tiene piezas móviles importantes. [2]

Tipos de pilas de combustible

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC	DMFC
Electrolito	Membrana de Polímero Sólido	Solución Alcalina	Ácido Fosfórico	Carbonatos Fundidos	Óxido Sólido	Membrana de Polímero Sólido
Temperatura Trabajo (°C)	60 – 80	100 – 120	200 – 250	600 – 700	800 – 1000	50 -120
Combustible	Hidrógeno	Hidrógeno	Hidrógeno Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural	Metanol
Ventajas	Baja Tª Arranque rápido Baja corrosión y mantenimiento	Mayor eficiencia Reacción catódica más rápida	Acepta H2 con 1% de CO	Reformado interno Cogeneración	Reformado interno Cogeneración	No necesita reformador de combustible
Aplicaciones	Transporte Portátiles Residencial	Espaciales	Generación eléctrica distribuida Automoción	Generación eléctrica	Generación eléctrica	Portátiles

Figura 2. Tipos de pilas de combustible [1]

3. ESQUEMA

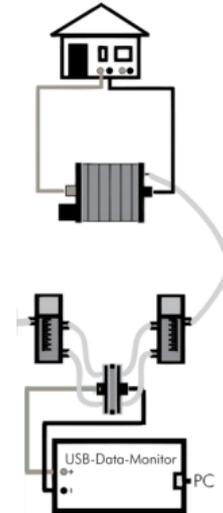
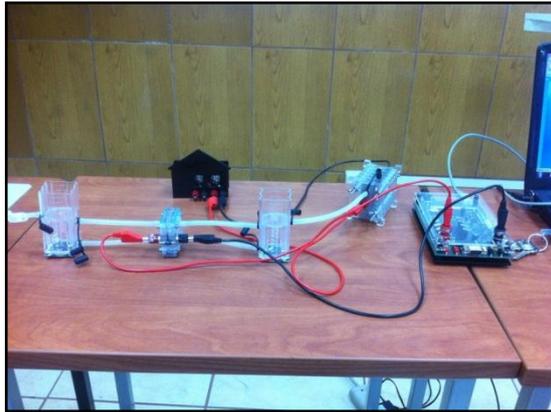


Figura 3: Esquemas de construcción

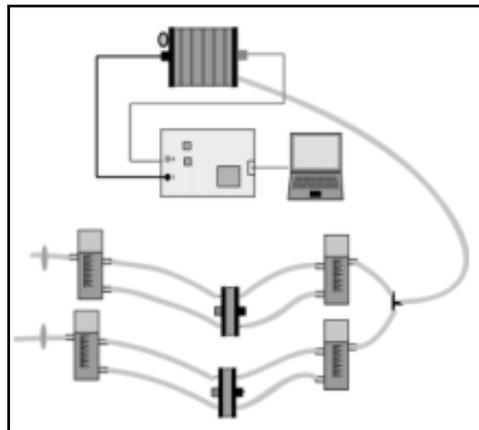
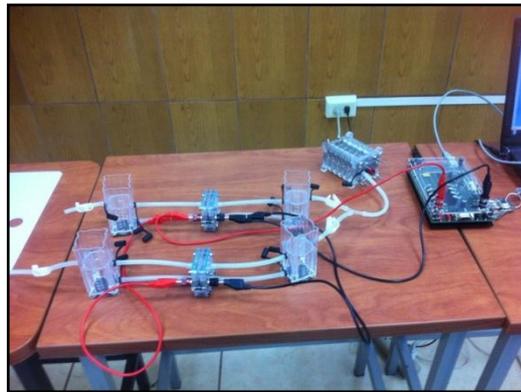


Figura 4: Esquemas de construcción

4. MATERIALES

Electrolizador	Agua destilada
2 Acumuladores	4 cables: 2 negro, 2 rojo
13 Mangueras de conexión	Fuente de alimentación externa variable
2 Tapones de cierre	Cronómetro
Pila de combustible	

Tabla 1: Materiales

5. INSTRUCCIONES

EXPERIMENTO 1

- Arme la configuración de ensayo según lo mostrado en la figura 3.
- Cierre la salida de hidrógeno de la pila de combustible.
- Separe el consumidor de la pila de combustible.
- Ajuste la fuente 2V y genere 30 cm³ de hidrógeno
- Abra la salida de hidrógeno de la pila de combustible durante 1 segundo y vuelva a cerrarla.
- Vuelva a producir hidrógeno.
- Conecte la casita a la pila de combustible.
- Anote sus observaciones.

Comportamiento del consumo de hidrógeno.

- Separe la casita de la pila de combustible.
- Ajuste el electrolizador a 2V y genere 30 cm³ de hidrógeno.
- Conecte la pila de combustible al USB-Data-Monitor y pase en el software a la pestaña PILA DE COMBUSTIBLE
- Ajuste 150 mA en el software.
- Mida el tiempo, lea el consumo de hidrógeno e introduzca el valor en una tabla
- Repita el ensayo y aumente a 300 mA
- Tome fotos del experimento

¿Cómo se comporta una pila de combustible en caso de suministro directo de oxígeno?

- Con el electrolizador, produzca 30 cm³ de hidrógeno y 15 cm³ de oxígeno.
- Suministre hidrógeno a la pila de combustible.
- Coloque el oxígeno directamente delante de los pozos de ventilación de la pila de combustible y observe mientras tanto los valores de tensión.

EXPERIMENTO 2

- Arme la configuración de ensayo según lo mostrado en la figura 4.
- Cierre la salida de hidrógeno de la pila de combustible.
- Ajuste la fuente de alimentación a 2V y produzca 30cm³ de hidrógeno.
- Abra la salida de hidrógeno de la pila de combustible durante 1 segundo y vuelva a cerrarla.
- Vuelva a producir hidrógeno a 30cm³.
- Ajuste el USB-Data-Monitor a 0mA y conéctelo a la pila de combustible.
- Anote la tensión al aumentar la corriente.
- Introduzca los valores en una curva característica de corriente y tensión.
- Introduzca los valores en una curva característica de corriente y potencia.

6. DESARROLLO

EXPERIMENTO 1

Primeras experiencias con pilas de combustible

Observaciones:

La casa genera una pequeña cantidad de luz con una tensión de 0.004V, debido a que solo tenemos un acumulador de hidrogeno de 30cm³ y la casa requiere una carga de 5V para encender la bombilla de luz

Comportamiento del consumo de hidrógeno

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALOES OBTENIDOS DEL EXPERIEMNTO			
Consumo De hidrógeno [cm ³]	Consumo De hidrógeno [cm ³]	Consumidor pequeño (USB-Data-Monitor 150 mA) [s]	Consumidor pequeño (USB-Data-Monitor 300 mA) [s]
30-25	5	510	382
25-20	10	790	450
20-15	15	933	705
15-10	20	1110	615
10-5	25	1605	715
5-0	30	1980	1350

Tabla 2: Datos adquiridos del experimento

EXPERIMENTO 2

Determinación de la curva característica de una pila de combustible

Comportamiento de la corriente y la tensión en función del consumidor

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES OBTENIDOS DEL EXPERIEMNTO		
Corriente [mA]	Tensión [mV]	Potencia [W]
0	3408,71	0
100	3301,29	0,330129
200	3090,74	0,618148
300	3077,85	0,923355
400	3237,7	1,29508
500	3083,87	1,541935
600	2976,02	1,785612
700	2835,94	1,985158
800	2933,05	2,34644
900	3111,37	2,800233
1000	2597,03	2,59703

Tabla 3: Datos adquiridos del experimento

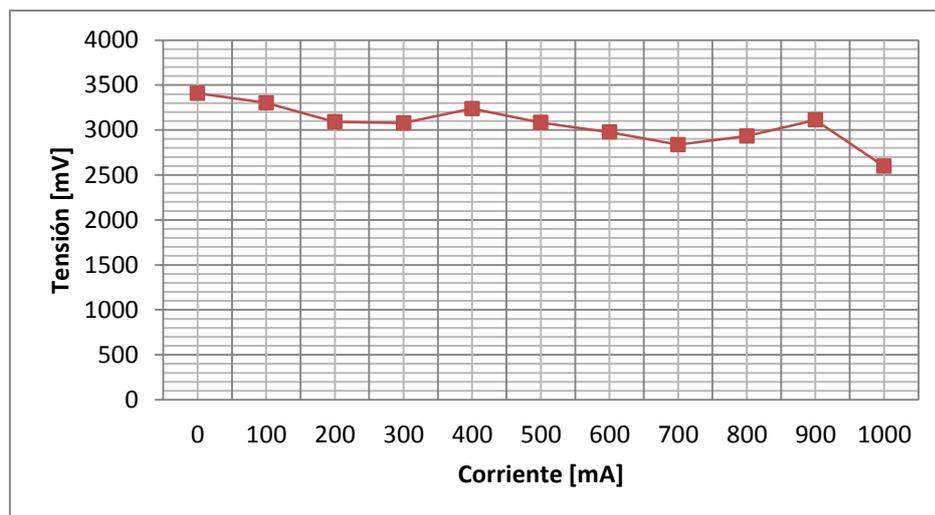


Gráfico 1: Curva característica de corriente y tensión

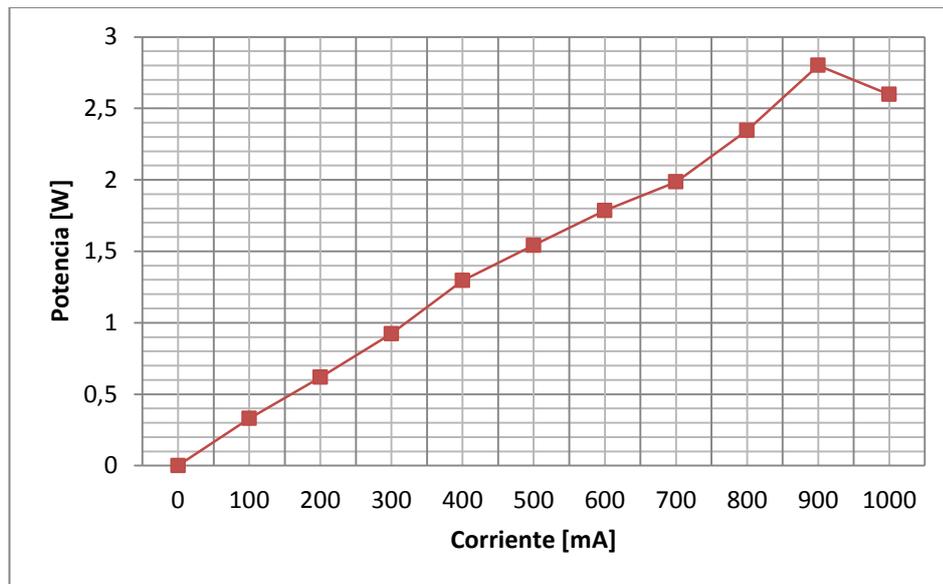


Gráfico 1: Curva característica de potencia y corriente

7. CUESTIONARIO

PREGUNTAS SOBRE EL EXPERIMENTO

1. *¿Cuándo y por qué es importante cerrar las salidas de gas de la pila de combustible? ¿Por qué consume la pila de combustible cantidades ingentes de hidrógeno con la salida de hidrógeno abierta?*

Si no se cierran las salidas, el gas escapa al entorno y no se puede utilizar para el funcionamiento de la pila de combustible.

2. *¿Por qué se tuvo que separar el consumidor de la pila de combustible antes de iniciar el ensayo?*

La pila de combustible necesita hidrógeno para generar energía eléctrica. Dado que aún no se había producido hidrógeno, se tuvo que producir primero una pequeña cantidad antes de poder conectar el consumidor.

3. *¿Qué significa el concepto de "lavado" con relación a las pilas de combustible? ¿Por qué es necesario lavar regularmente una pila de combustible?*

Para lavar la pila de combustible se abre brevemente la salida de hidrógeno de la pila de combustible; dado que, durante el funcionamiento de la pila de combustible, se pueden acumular impurezas en el lado de hidrógeno, es necesario un lavado regular para obtener una concentración suficiente del hidrógeno en la pila de combustible.

4. *¿De qué forma depende el consumo de hidrógeno del consumidor?*

El consumo de hidrógeno aumenta proporcionalmente a la potencia del consumidor.

5. ¿Qué ha ocurrido cuando se ha suministrado oxígeno puro a la pila de combustible?

Ha aumentado la tensión. El contenido de oxígeno del aire ambiente es tan sólo de un 21 %. El suministro directo de oxígeno aumenta el rendimiento de una pila de combustible.

6. ¿Cómo se puede explicar el desarrollo de la curva característica?

La tensión teóricamente posible de una pila de combustible de hidrógeno en las condiciones estándar es de 1,23V, este valor surge de los datos termodinámicos de la reacción del hidrógeno y oxígeno formando agua. En la aplicación, se producen pérdidas en el flujo de corriente como consecuencia de inhibiciones cinéticas de la reacción, resistencias internas o una difusión insuficiente; por este motivo, la tensión suministrada efectivamente por una celda individual es de 0,4 a 0,9V. La diferencia entre la tensión medida y la tensión posible desde el punto de vista termodinámico se denomina como sobretensión.

PREGUNTAS GENERALES

7. ¿Quién es considerado como el inventor de la pila de combustible?

El principio de la pila de combustible fue descubierto en 1838 por Christian Friedrich Schönbein con la siguiente reacción: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

Sin embargo, la invención de la pila de combustible se atribuye al jurista y físico Sir William Robert Grove en el año 1839. [3]

8. ¿Cómo se puede explicar la fórmula $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ en palabras?

Esta fórmula expresa que el hidrógeno en su forma elemental reacciona con oxígeno, formando agua, esta reacción tiene lugar tan sólo cuando se suministra una energía de activación, es exotérmica, es decir que se libera energía. [4]

9. ¿En qué aplicaciones ya se están utilizando actualmente las pilas de combustible de forma racional o ensayando con resultados prometedores?

Las pilas de combustible se utilizan para vehículos, sistemas de alimentación ininterrumpida, mástiles de transmisión para redes de telefonía móvil, aparatos eléctricos móviles (p. ej. ordenadores portátiles), satélites, así como en la navegación aeroespacial. [4]

10. ¿Qué tipos de pilas de combustible existen?

Pila de combustible alcalina, pila de combustible PEM, pila de combustible de conversión directa de metanol, pila de combustible de óxido sólido, pila de combustible de carbonato fundido y pila de combustible de ácido fosfórico. [4]

11. ¿Qué es una celda galvánica / un elemento galvánico?

Una celda galvánica es un dispositivo para la conversión espontánea de energía química en energía eléctrica, Toda combinación de dos electrodos diferentes y un electrólito se denomina como elemento galvánico. Por lo tanto, la pila de combustible es un elemento galvánico. [5]

12. ¿Qué posibilidades existen para almacenar el hidrógeno?

En el estado actual de la técnica, el hidrógeno se puede almacenar como gas a presión, gas licuado, hidruro metálico o en nanofibras, el almacenamiento económico y con un consumo reducido de recursos es el punto determinante para que llegue a imponerse la tecnología del hidrógeno. [6]

13. ¿Existe en nuestro planeta hidrógeno en forma pura?

No; el hidrógeno existe únicamente en forma ligada, p. ejemplo en agua o en hidrocarburos (biomasa, petróleo, gas natural, carbón). [6]

PREGUNTAS SOBRE EL EXPERIMENTO

8. CONCLUSIONES

Que puede concluir acerca del funcionamiento de la pila de combustible, ventajas y desventajas.

La pila de combustible necesita el hidrógeno para poder producir energía eléctrica, es una forma limpia de producir esta energía y para ello se necesita como proceso anterior un electrolizador el cual dividirá el agua en hidrógeno y oxígeno.

Con el equipo que se realizan las prácticas no se obtienen valores de tensión altos y únicamente se pueden hacer para cargas pequeñas.

Que puede concluir acerca del consumo del hidrógeno en la pila de combustible.

Con una carga de 125mA el hidrógeno demora menos tiempo hasta agotarse y con la carga de 300mA al necesitar más energía el hidrógeno se acaba más rápido de los acumuladores, hasta ocuparse los 30cm³ de hidrógeno pasan alrededor de 115 minutos para la carga de 125mA y 70 minutos para la carga de 300mA.

Que puede concluir acerca de los datos obtenidos de la potencia en la pila de combustible.

Los datos que se tomaron fueron variando de 100 en 100mA hasta llegar a 1000mA después de esto aumentamos con un mayor rango para llegar a los 5000mA. Los datos de tensión fueron variando a ocasiones subían o bajaban pero en general de 0 a 5000mA la tensión varió de 3400mV a 2400mV.

La potencia fue aumentando conforme subía la corriente hasta llegar a un valor de 12W.

Esta práctica se realizó variando los valores de corriente y tomando datos de voltaje así que no fue necesario que todo el hidrógeno acumulado se utilice.

9. BIBLIOGRAFÍA

[1] CENTRO NACIONAL DEL HIDRÓGENO, “*Pila de combustible*”, España, Inglaterra, [en línea] > <http://www.cnh2.es/info-h2/pilas-de-combustible/>

[2] NATIONAL GEGRAPHIC, “*Pila de combustible*” [en línea] > <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/fuel-cell-profile>

[3] JC. Ruiz, “*Pilas de Combustible*”. España, Real Sociedad 2006

[4] A. Madrid, *Energías renovables fundamentos, tecnologías y aplicaciones: solar, eólica, biomasa, geotérmica, hidráulica, pilas de combustible, cogeneración y fusión nuclear*. Madrid: AMV Ediciones Mundiprensa, 2009.

[5] eHow “*Celda galvánica*”, [en línea] > http://www.ehowenespanol.com/definicion-celda-galvanica-hechos_10851/

[6] E. Llera, I. Zabalza. *Hidrógeno: producción, almacenamiento y usos energéticos*. España-Zaragoza. 2011.

PRACTICA N°	TIEMPO ESTIMADO	TEMA	INTEGRANTES
3	30 min	RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UNA PILA DE COMBUSTIBLE	_____ _____ _____

1. OBJETIVOS

- Realizar la medida y análisis conjunto del volumen de hidrógeno, tiempo, tensión, corriente y analizar los resultados.
- Calcular el rendimiento energético de una pila de combustible.
- Graficar y entender el comportamiento de los resultados

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Rendimiento energético de una pila de combustible.

El rendimiento nos permite saber la eficiencia del proceso para ello relacionamos la energía eléctrica que obtenemos en la salida de la pila respecto a la energía del hidrógeno que ingresa a la pila.

La fórmula utilizada es la siguiente:

$$\eta_{\text{energéticoPilaCombustible}} = \frac{E_{\text{eléctrico}}}{E_{\text{hidrógeno}}} = \frac{U * I * t}{V_{H_2} * H_u}$$

Dónde:

V_{H_2} : Volumen generado de hidrógeno en m^3

H_u : Valor calorífico inferior del hidrógeno = $\frac{9,9 \times 10^{-6} J}{m^3}$

U : Valor medio de la tensión en voltios.

I : Valor medio de la corriente en amperios.

t : Tiempo en segundos. [3]

3. ESQUEMA

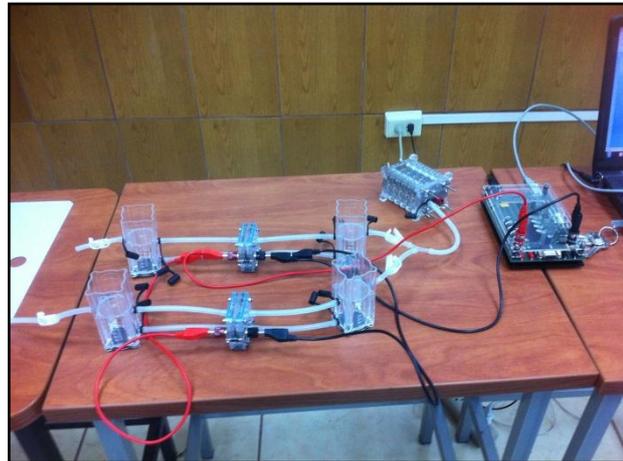
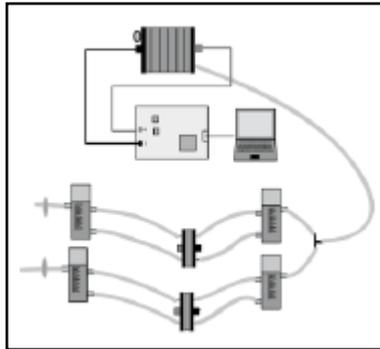


Figura 2: Esquema

4. MATERIALES

2 electrolizadores	Agua destilada
4 acumuladores	6 cables: 3 negro, 3 rojo
11 mangueras de conexión	Fuente de alimentación externa variable
2 tapones de cierre	Cronómetro
Pila de combustible	

Tabla 1: Materiales

5. INSTRUCCIONES

- Arme la configuración de ensayo según lo mostrado en la figura 2.
- Cierre la salida de hidrógeno de la pila de combustible.
- Ajuste la fuente de alimentación a 2V y produzca 15cm³ de hidrógeno.
- Abra la salida de hidrógeno de la pila de combustible durante 1 segundo y vuelva a cerrarla.
- Vuelva a producir hidrógeno a 30cm³.
- Ajuste el USB-Data-Monitor a 0mA y conéctelo a la pila de combustible.
- Anote la tensión al aumentar la corriente.
- Introduzca los valores en una curva característica de corriente y tensión.
- Introduzca los valores en una curva característica de corriente y potencia.

6. DESARROLLO

Cálculo del rendimiento energético de una pila de combustible

Rendimiento energético de una pila de combustible

COMPLETE LA TABLA CON LOS VALORES OBTENIDOS DEL EXPERIMENTO

Volumen de Hidrógeno [cm ³]	0	5	10	15	20	25
Tiempo [s]	0	348	1255	1539	1885	2445
Tensión [mV]	3556,523	2243,828	3460,274	2767,188	1049,297	941,87
Corriente [mA]	0	10	20	30	40	50

Tabla 2: Datos adquiridos del experimento

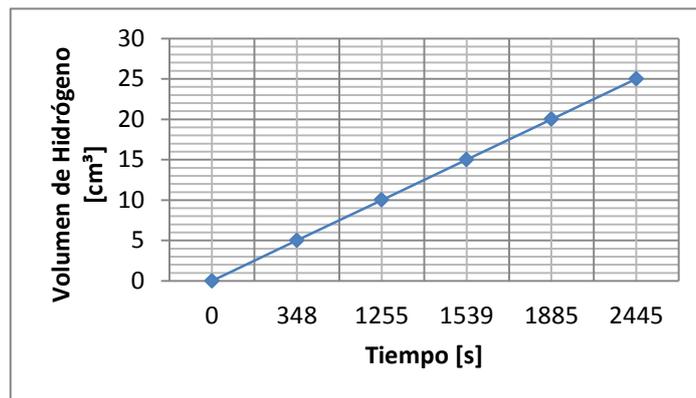


Gráfico 1: Diagrama Volumen H.cm³ y tiempo

Calculo del rendimiento energético de la pila de combustible

$$n_{\text{energético Pila de combustible}} = \frac{E_{\text{eléctrico}}}{E_{\text{hidrógeno}}} = \frac{U * I * t}{V_{H_2} * H_u}$$

$$n_{\text{energético Pila de combustible}} = \frac{0.9418 \text{ V} * 0.05 \text{ A} * 2445 \text{ s}}{0.000025 \text{ cm}^3_{H_2} * \frac{9.9 * 10^6 \text{ J}}{\text{m}^3}}$$

$$n_{\text{energético Pila de combustible}} = 0.4651 = 46.51\%$$

7. CUESTIONARIO

Preguntas sobre el experimento

1. ¿Qué se puede ver en el diagrama de volumen y tiempo?

En el diagrama de volumen y tiempo se puede ver que el consumo de hidrógeno es proporcional a la potencia suministrada, cuanto más alta sea la potencia suministrada por la pila de combustible, mayor es el consumo de hidrógeno.

Preguntas generales

2. ¿Qué es el rendimiento energético?

El rendimiento energético describe la relación entre la energía útil entregada y la energía suministrada. [4]

3. ¿Qué significa PEM en el contexto de las pilas de combustible?

PEM es la denominación para una membrana en una pila de combustible. PEM significa Polymer Electrolyt Membrane, denominada también como Proton Exchange Membrane. Proton Exchange indica que la membrana conduce protones, pero no la electricidad. Polymer Electrolyt indica que el electrólito es un polímero, es decir, un material sintético. La membrana tiene el aspecto de una lámina de retroproyector, pero es considerablemente más cara. [4]

4. ¿De qué material está fabricada la membrana de una pila de combustible PEM?

La membrana de polímero más utilizada está fabricada de Nafion de la empresa Dupont; otras membranas están basadas en polibenzimidazol y ácido fosfórico, representando el polibenzimidazol la matriz para el ácido fosfórico conductor de protones. [4]

5. ¿Qué característica debe poseer la membrana de una pila de combustible?

La membrana debe ser permeable a los protones. Tiene que ser impermeable a los dos gases reactivos y a los electrones.

Los electrodos porosos de carbono contienen un catalizador de platino, que limita el tipo de combustible que puede alimentarse dado que este tipo de catalizador es extremadamente sensible a la contaminación por monóxido de carbono. [4]

Preguntas de comprensión

6. ¿Por qué la fórmula para el cálculo del rendimiento energético de una pila de combustible es la función inversa de la fórmula para el cálculo del rendimiento energético de un electrolizador?

La reacción en la pila de combustible es la inversión de la electrólisis. En la electrólisis se producen hidrógeno y oxígeno a partir de agua y con el suministro correspondiente de

tensión y de corriente. En la pila de combustible se vuelven a reunir hidrógeno y oxígeno en agua, obteniendo electricidad.

7. ¿Por qué motivo las membranas son tan caras?

Las membranas están dotadas de platino y otros metales nobles como catalizadores para la reacción de la celda. Entre otros, este hecho aumenta considerablemente su precio. [4]

8. ¿Qué ocurre con el calor en la pila de combustible?

Para evitar problemas con los materiales de la pila, la temperatura debe ser la misma. Cada tipo de pila combustible tiene su temperatura idónea de trabajo. La temperatura sale al ambiente igual que vapor de agua. [5]

9. CONCLUSIONES

Que puede concluir acerca de los datos obtenidos en la práctica.

En la práctica el hidrógeno se va consumiendo a medida que pasa el tiempo, y por esta razón se produce energía eléctrica. La práctica fue larga ya que el hidrógeno se consume lentamente. Se fue cambiando la corriente en el USB-data-monitor cada 10mA hasta llegar a 50mA.

Los valores de voltaje fueron variando, al inicio con una carga pequeña de 10mA se obtuvo 3500mV y cuando se utilizaba más carga llegando a 50mA la tensión bajó a 940mV.

Que puede concluir acerca del cálculo del rendimiento energético.

El valor de rendimiento hace una relación entre la energía eléctrica de salida de la pila de combustible, respecto de la energía del hidrógeno que entra a la pila y que proviene de la electrólisis.

Realizado el cálculo se obtiene un valor del 46,5% de rendimiento, lo cual no es un rendimiento muy alto y no se aprovecha al 100% la energía que ingresa.

10. BIBLIOGRAFÍA

[1] CENTRO NACIONAL DEL HIDRÓGENO, “Pila de combustible”, España, Inglaterra, [en línea] > <http://www.cnh2.es/info-h2/pilas-de-combustible/>

[2] “Pilas de combustible”, [en línea] > <http://www.pilasde.com/tecnologia-del-hidrogeno/pilas-de-combustible>

[3] *Clean Energy Trainer Manual de experimentación. Berlin Alemania(2011)*

[4] E. Llera, I. Zabalza. *Hidrógeno: producción, almacenamiento y usos energéticos*. España-Zaragoza. 2011.

[5] A. Madrid. *Guía completa de las energías renovables y fósiles*. Madrid, A. Madrid Vicente, Ediciones. 2012.

CAPITULO IV

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE SISTEMAS HÍBRIDOS DE ENERGÍAS RENOVABLES

4.1 Introducción.

En este capítulo se estudiará una combinación de las energías solar y eólica revisadas en los capítulos anteriores, la corriente eléctrica que se obtiene como resultado se usa para el proceso de electrólisis. Una vez se haya generado el hidrógeno, el mismo se usa para el funcionamiento a la pila de combustible, que finalmente alimentará una carga.

De esta manera la carga, que en este caso es una pequeña casa con dos focos, usará energía completamente renovable y limpia ya que su origen viene de los módulos solares o generador eólico del mismo equipo Clean Energy Trainer.

Tanto la energía eléctrica generada del módulo solar así como del generador eólico son corriente continua y se pueden combinar usando un módulo más el generador, dos módulos más generador, módulos en paralelo, módulos en serie, módulo y generador en paralelo o en serie, de esta manera se está simulando cargas y condiciones que pueden ocurrir en la vida real como por ejemplo mucho sol y viento, solo viento en la noche, etc. Con las diferentes condiciones mencionadas se registrarán valores de voltaje de tensión mayores o menores y es importante lograr la mayor eficiencia en cada uno de esos casos para poder tener el la energía necesaria para que inicie el proceso de electrólisis, teniendo en cuenta que con mayor voltaje este proceso se acelera.

La electrólisis separará el agua en oxígeno e hidrógeno, este último será indispensable para el funcionamiento de la pila de combustible y es recomendable que se encuentre almacenado y no falte. Así entonces con una alimentación continua de combustible (hidrógeno) la pila genera electricidad continuamente, hay que recordar que la pila genera energía de manera ilimitada mientras se encuentre con combustible.

En la vida real hay que tener en cuenta ciertos factores para poder combinar la energía solar con la eólica puesto que hay regiones en donde hace mucho sol y poco viento o viceversa. En conclusión el lugar debería favorecer un alto rendimiento para este sistema híbrido.

Otro factor es el almacenamiento de la electricidad esto se vuelve necesario ya que en ciertos momentos puede no existir presencia de sol o viento pero los equipos deben seguir en funcionamiento. Por último otro factor a considerar es el costo de la instalación que podría llegar a tener valores representativos.

Como una gran ventaja de usar sistemas híbridos de generación de energía es el autoconsumo, esto supone ahorros muy significativos ya que la persona no depende de empresas que suministren electricidad. También no se producen emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes teniendo así un ambiente limpio y saludable.

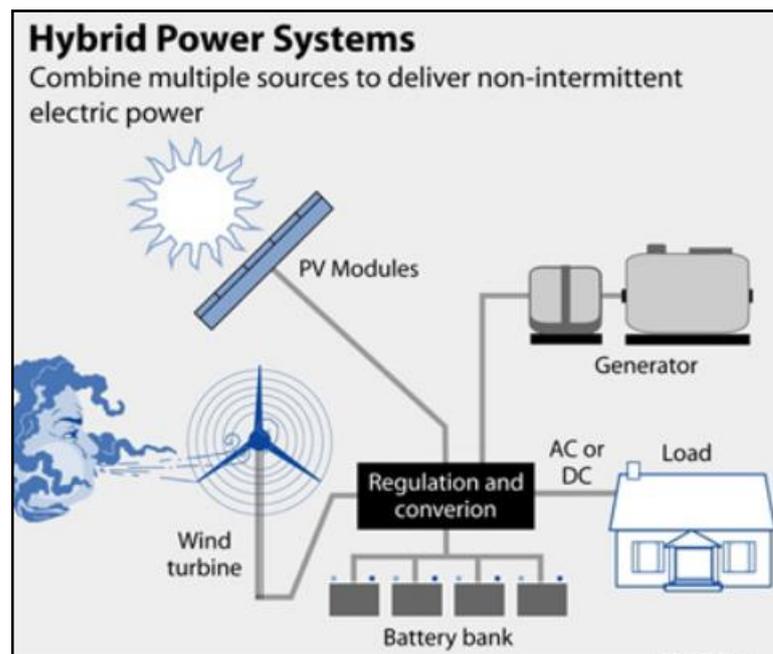


Figura 4. 1: Esquema, combinación de energías

4.2 Componentes del equipo CLEAN ENERGY TRAINER

Para el desarrollo de las prácticas de energías renovables a continuación se mencionarán los materiales a utilizar, (figura 4.2).

- A. Módulo solar
- B. Lámpara 75 W (foco)

- C. Generador eólico
- D. Ventilador
- E. Electrolizador
- F. Acumulador de agua
- G. Mangueras de conexión
- H. Tapones de cierre
- I. Pila de combustible
- J. Consumidor (casa con dos lámparas)
- K. Agua destilada
- L. USB-Data Monitor
- M. Cable USB
- N. PC o laptop con software instalado
- O. Cables: negro, rojo

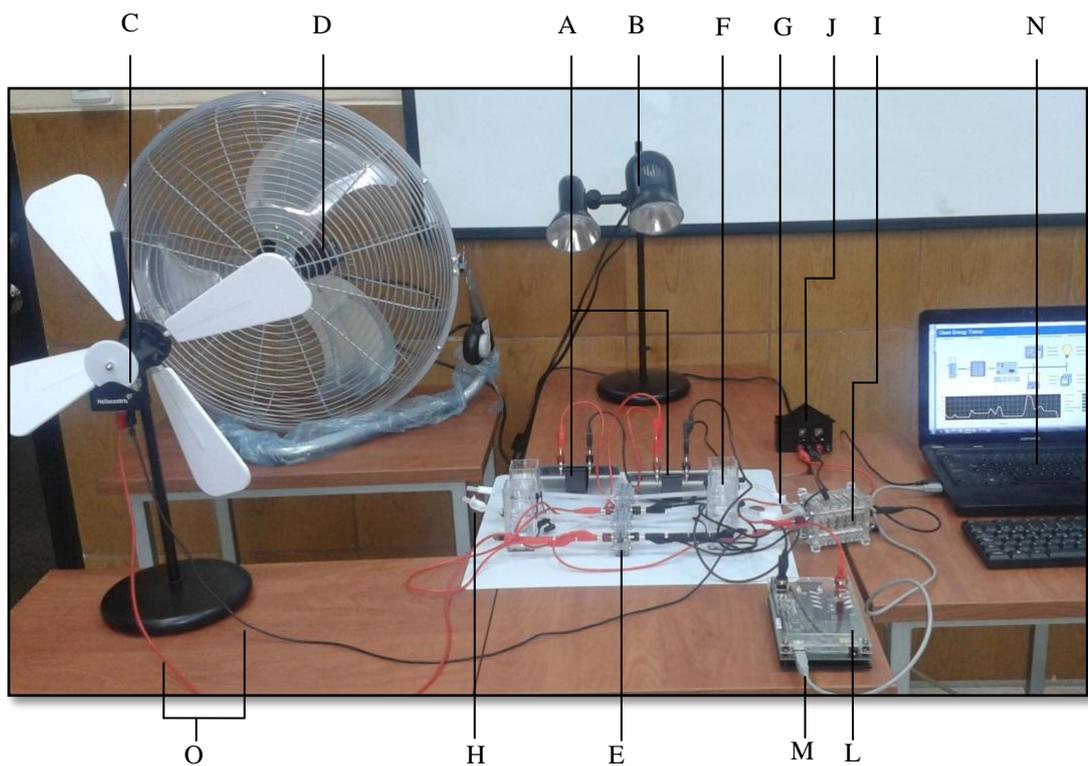


Figura 4. 2: Esquema de energías renovables

4.3 Manejo del Software.

En esta sección se analizará el uso del software para el análisis de “simulador perfil de generador” y “simulación de perfil de carga”

Pasos para el uso del software, “simulador perfil de generador”

- a) Se conecta el USB- data monitor a la Pc, (Figura 4.3).



Figura 4. 3: Conexión del USB-Monitor

- b) Iniciamos el software Clean Energy Trainer
c) Esperamos a que el software reconozca el USB-data monitor
d) En la pantalla se visualizara una ventana la cual indica que debemos juntar las bananas provocando cortocircuito y se pulsa OK (Figura 4.4 - 4.5).



Figura 4. 4: Conexión en cortocircuito del software

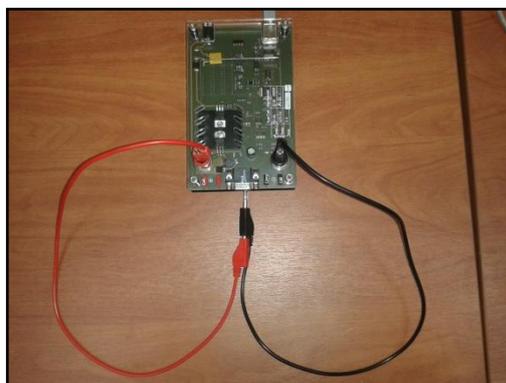


Figura 4. 5: Conexión en cortocircuito real

e) Una vez calibrado se pulsa en OK (Figura 4.6).

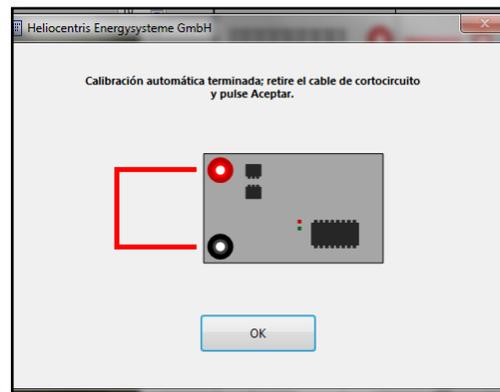


Figura 4. 6: Calibración de cortocircuito

f) En la parte superior del software se indicara el tipo de sistema a analizar y se selecciona en la pestaña “simulador perfil de generador” (Figura 4.7).



Figura 4. 7: Selección de sistema

g) Se visualizará una ventana la indica conectar el electrolizador (Figura 4.8).



Figura 4. 8: Mensaje de conexión del electrolizador

h) Se observa en el programa una advertencia que indica que se debe conectar la alimentación eléctrica externa (Figura 4.9).

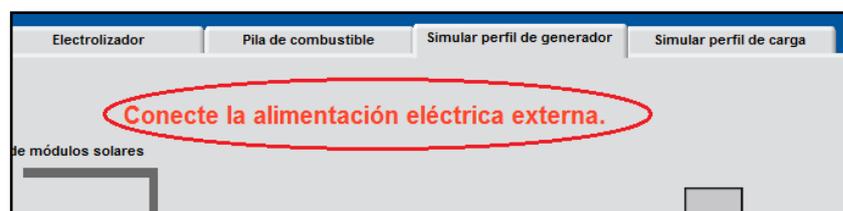


Figura 4. 9: Conexión de alimentación externa

i) Se procede a conectar el electrolizador y la alimentación eléctrica externa (Figura 4.10).

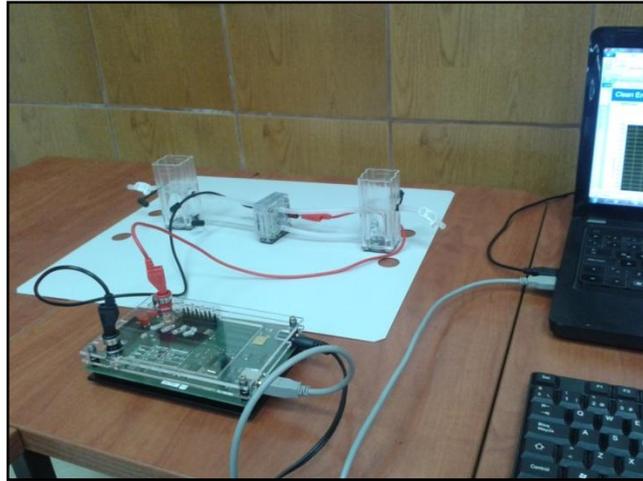


Figura 4. 10: Conexión del electrolizador al USB-data monitor

- j) En la parte derecha se tiene una opción donde se indica el modo de operación, en la cual se selecciona modo automático, en la parte izquierda hay las opciones donde se simulará mucho sol, poco sol, y nada de sol, y mucho viento, poco viento, nada de viento, también se puede seleccionar el número de módulos solares y generadores eólicos donde se tiene un rango de 1 hasta 3 módulos o generadores (Figura 4.11).

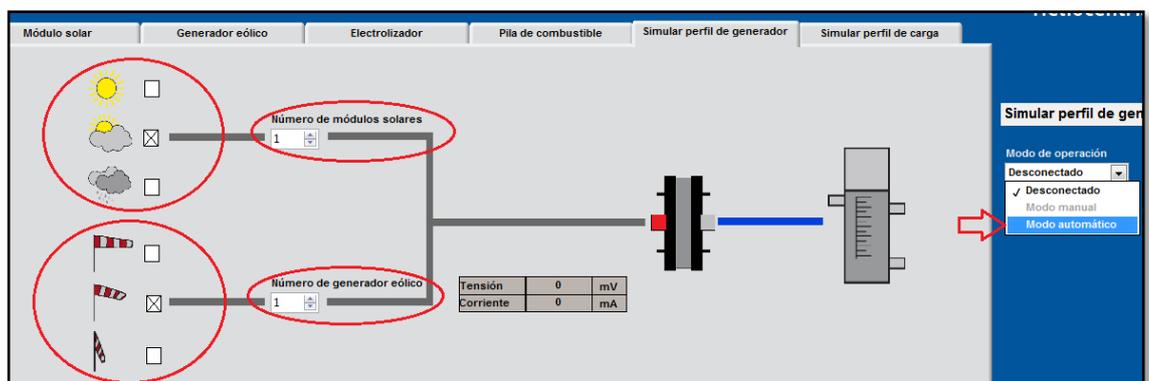


Figura 4. 11: Selección de modo de operación del sistema

- k) Una vez seleccionada la operación automático se marca la simulación de energías renovables para el caso de la práctica se selecciona mucho sol y poco viento y con un módulo solar y un aerogenerador eólico, luego se da clic en (inicio/parada) para que el software registre datos, en el cuadro de corriente y tensión que genera la simulación, se espera el tiempo deseado para que el electrolito empiece el proceso de descomposición del agua en oxígeno e hidrogeno, una vez que haya producido hidrogeno deseado damos clic en (inicio/parada) para detener el proceso (Figura 4.12).

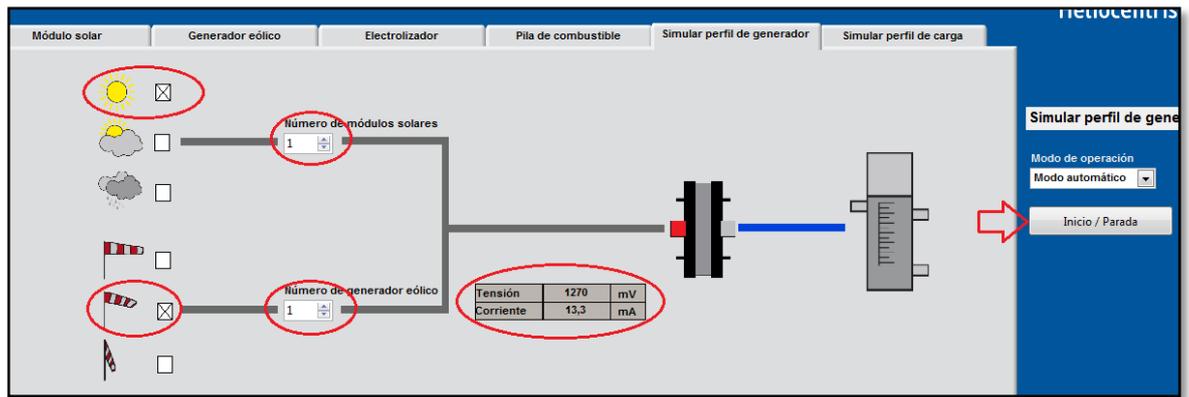


Figura 4. 12: Registro de datos de corriente y tensión

- 1) En la parte inferior se observa un opción donde indica mostrar perfil, se da clic en las condiciones de sol y viento para mostrar la gráfica generada por el proceso en el paso “k” , luego se pulsa en la opción guardar, de esta manera los datos se guardaran en un archivo que posteriormente se lo abrirá en Excel, luego en “modo de operación” seleccionamos “modo desconectado” finalmente se pulsa en terminar para cerrar el programa Clean Energy Trainer (Figura 4.13)

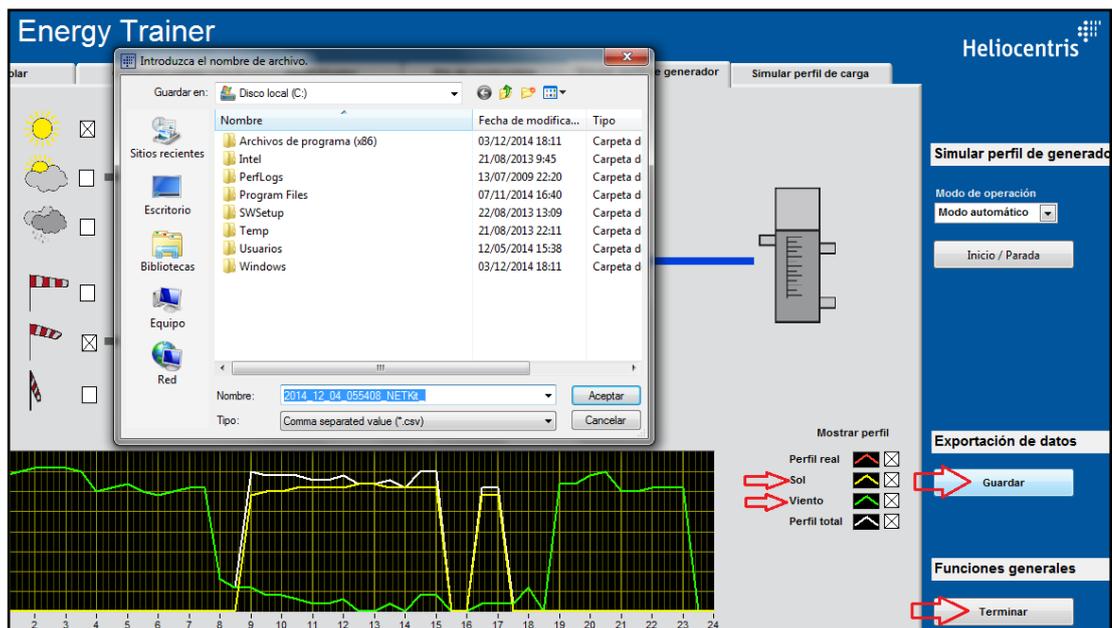


Figura 4. 13: Guardado de registro de datos

Pasos para el uso del software, simulación de perfil de carga.

- a) Seguimos los mismos pasos a, b, c, d, y e
- b) En la parte superior del software se indicara el tipo de sistema a analizar y se selecciona en la pestaña “simular perfil de carga” (Figura 4.14).



Figura 4. 14: Selección de la opción de simular perfil de carga

- c) Se visualizará una ventana que indica conectar la pila de combustible (Figura 4.15).

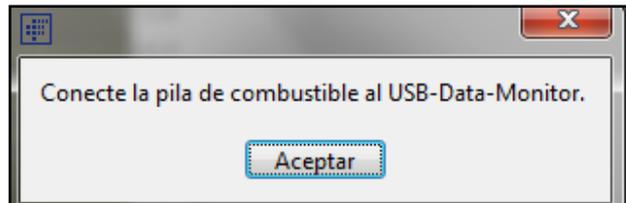


Figura 4. 15: Mensaje de conexión de la pila de combustible

- d) Se procede a conectar la pila de combustible (Figura 4.16).

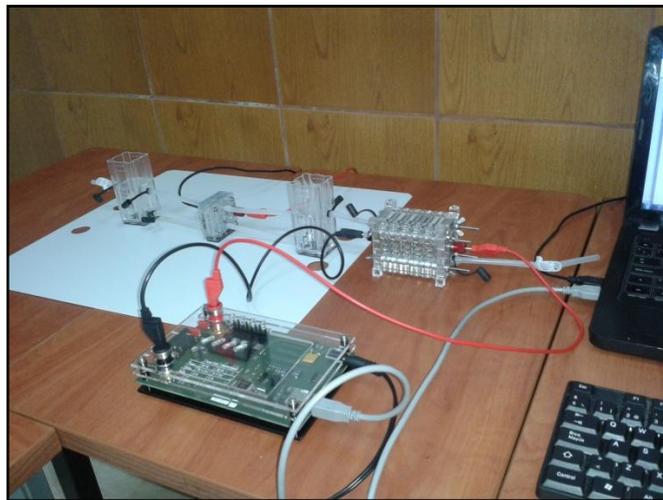


Figura 4. 16: Conexión de la pila de combustible al USB-data monitor

- e) En la parte derecha hay una opción donde se indica el modo de operación, en la cual se selecciona modo automático (Figura 4.17).

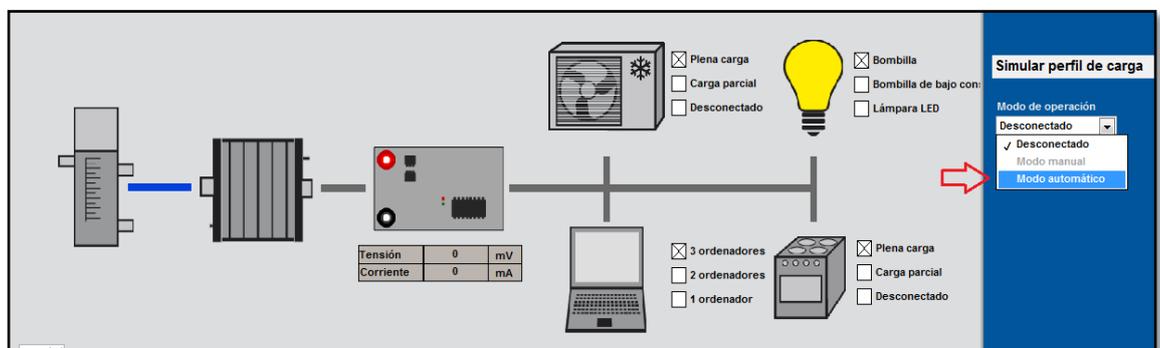


Figura 4. 17: Selección de modo de operación del sistema

- f) Una vez seleccionada la operación automático, se procede a seleccionar la simulación de perfil de carga entre estas hay las siguientes: en la opción A “aire acondicionado” con plena carga, carga parcial y desconectado; en la opción B “foco” con las siguientes opciones de bombilla, bombilla de bajo consumo y lámpara led; en la opción C “laptop” con las opciones de 1, 2, y 3 ordenadores; en la opción D “cocina” con plena carga, carga parcial y desconectado. Una vez seleccionado los perfiles de carga se procede a pulsar en inicio/parada para que inicie la simulación (Figura 4.18).

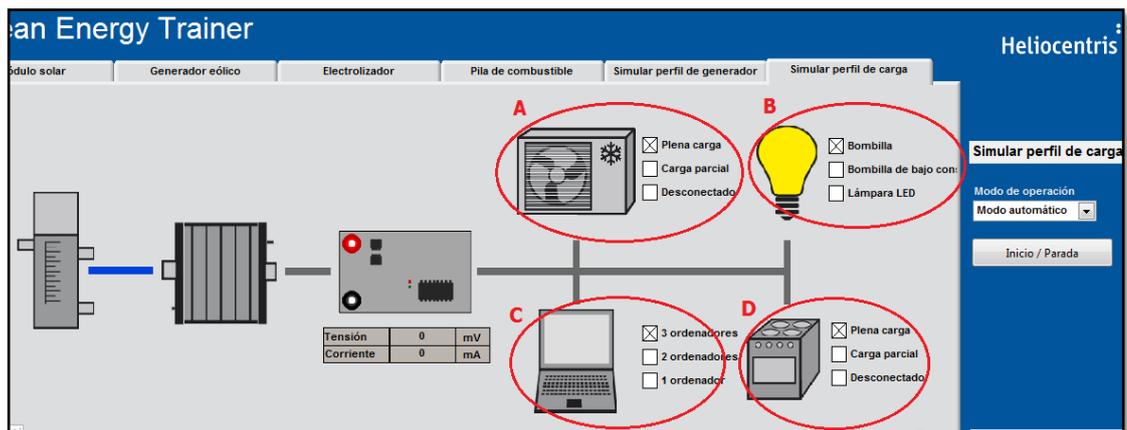


Figura 4. 18: Registro de datos de corriente y tensión

- g) En la parte inferior se observa un opción donde indica mostrar perfil, se da clic en las condiciones de luz, ordenador, cocina, aire acondicionado para mostrar la gráfica generada por el proceso en el paso “f” el tiempo que dura el proceso es de 2min que equivale a una simulación de 24horas, luego se procede a pulsar en la opción guardar de esta manera los datos se guardaran en un archivo que posteriormente se abrirá en Excel, luego en “modo de operación” se selecciona “modo desconectado” finalmente se pulsa en terminar para cerrar el programa Clean Energy Trainer (Figura 4.19).

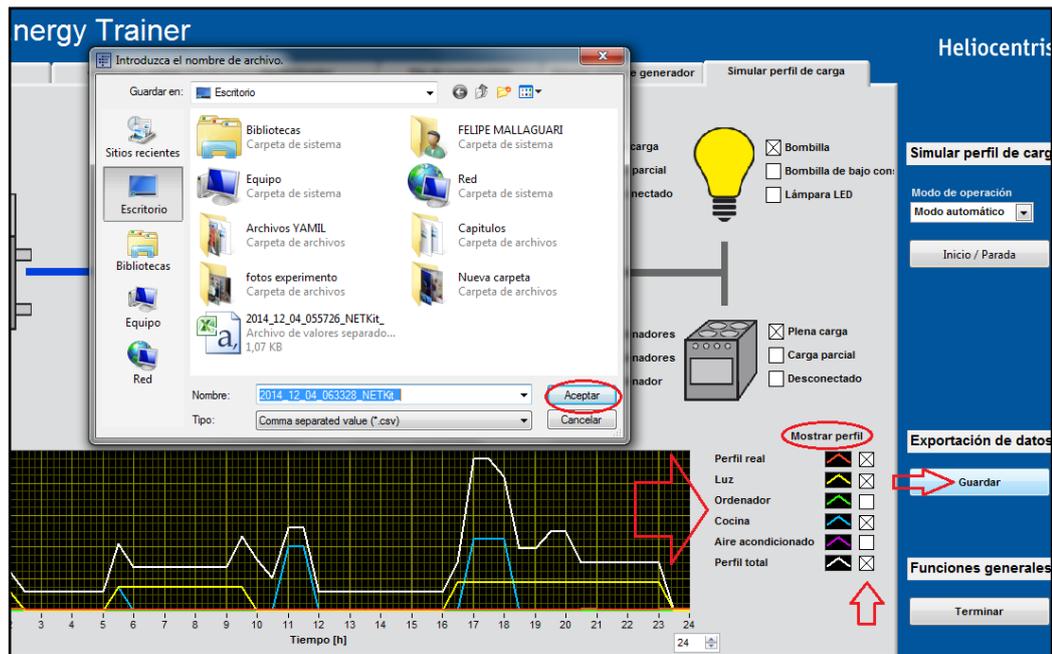


Figura 4. 19: Guardado de registro de datos

4.4 Prácticas con el equipo.

El desarrollo presentado a continuación está realizado con prácticas reales en el equipo, cuyo esquema se muestra a continuación:

- Objetivos.
- Fundamento teórico.
- Esquema.
- Materiales a utilizar en las prácticas.
- Instrucciones de cómo usar el equipo.
- Desarrollo; que contiene fotos, gráficas, cálculos y tablas para la comparación de resultados.
- Cuestionarios; que contiene preguntas sobre el experimento, generales y de comprensión.
- Conclusiones y bibliografías.

Estas prácticas pertenecen al docente o instructor de prácticas y cada ítem antes mencionado está resuelto, de manera que los valores sirvan de guía para los estudiantes al momento de realizar sus prácticas.

PRÁCTICA N°	TIEMPO ESTIMADO	TEMA	INTEGRANTES
1	30 min	OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES.	_____ _____ _____

1. OBJETIVOS

- Producir hidrógeno a partir del generador eólico y módulos solares.
- Simular situaciones meteorológicas según el uso de las energías renovables.
- Utilizar la energía generada en un consumidor y determinar qué energía renovable es más eficiente.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Energías Renovables.

Las energías renovables son aquellas energías que provienen de recursos naturales que no se agotan y a los que se puede recurrir de manera permanente. Su impacto ambiental es nulo en la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂. Se consideran energías renovables la energía solar, la eólica, la geotérmica, la hidráulica y la eléctrica. También pueden incluirse en este grupo la biomasa y la energía mareomotriz. [1]

Las energías renovables son la alternativa más limpia para el medio ambiente. Se encuentran en la naturaleza en una cantidad ilimitada y, una vez consumidas, se pueden regenerar de manera natural o artificial. Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), frente a las fuentes convencionales, las energías renovables son recursos limpios cuyo impacto es prácticamente nulo y siempre reversible.

Energía eólica. Es la energía cinética producida por el viento. A través de los aerogeneradores o molinos de viento se aprovechan las corrientes de aire y se transforman en electricidad. Dentro de la energía eólica, podemos encontrar la eólica marina, cuyos parques eólicos se encuentran mar adentro.

Energía solar. Este tipo de energía nos la proporciona el sol en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente). El uso de la energía del sol se puede derivar en energía solar térmica (usada para producir agua caliente de baja temperatura para uso sanitario y calefacción) solar fotovoltaica (a través de placas de semiconductores que se alteran con la radiación solar), etc. [2]

Electrólisis.

La electrólisis del agua es la descomposición de agua (H_2O) en oxígeno (O_2) y de hidrógeno gas (H_2) debido a una corriente eléctrica que pasa a través del agua.

Una fuente de alimentación eléctrica está conectada a dos electrodos, o dos placas (por lo general hechas de un metal inerte como el platino o acero inoxidable) que se colocan en el agua. En una celda diseñada correctamente, el hidrógeno aparece en el cátodo (el electrodo con carga negativa, donde los electrones entran en el agua), y el oxígeno aparecerá en el ánodo (el electrodo con carga positiva)

Suponiendo el ideal de faradai de eficiencia, la cantidad de hidrógeno generado es el doble del número de moles de oxígeno, y ambos son proporcionales al total de carga eléctrica llevada a cabo por la solución. Sin embargo, en muchas células compiten reacciones secundarias dominantes, dando lugar a diferentes productos y menos de la eficiencia faradai ideal. [3]

Pila de combustible.

Las pilas de combustible comprenden una amplia variedad de aplicaciones: desde dispositivos portátiles (ordenadores, teléfonos móviles, pequeños electrodomésticos), vehículos de todo tipo (coches, autobuses, barcos), hasta sistemas estacionarios de generación de calor y energía para empresas, hospitales, zonas residenciales, etc.

Las celdas de combustible son muy útiles como fuentes de energía en lugares remotos, como por ejemplo naves espaciales, estaciones meteorológicas alejadas, parques grandes, localizaciones rurales, y en ciertos usos militares. Un sistema con celda de combustible que funciona con hidrógeno puede ser compacto, ligero y no tiene piezas móviles importantes. [4]

3. ESQUEMA

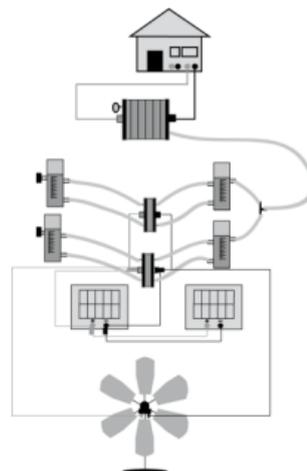


Figura 1.

4. MATERIALES

Electrolizador	Agua destilada
2 Acumuladores	4 Cables: 2 negro, 2 rojo
6 Mangueras de conexión	Fuente de alimentación externa variable
2 Tapones de cierre	Cronómetro
Pila de combustible	Dos módulos solares
Un ventilador	Una lámpara 75W

Tabla 1: Materiales

5. INSTRUCCIONES

¿Puede un consumidor funcionar de forma duradera con fuentes de energía renovables?

- Arme la configuración de ensayo según lo mostrado en la figura 1.
- Conecte la lámpara y el ventilador.
- Al cabo de 3 minutos simule diferentes situaciones meteorológicas (día / noche / ausencia de viento).
- Observe el consumidor.

¿Qué fuente de energía genera más hidrógeno?

- Desconecte el módulo solar.
- Dirija el ventilador durante 3 minutos hacia el generador eólico e introduzca la cantidad de hidrógeno generada en una tabla.
- Desconecte el generador eólico y vacíe el depósito de hidrógeno
- Dirija la lámpara (distancia 50 cm) durante 3 minutos hacia el módulo solar e introduzca la cantidad de hidrógeno generada en una tabla

7. DESARROLLO

Obtención de hidrógeno a partir de fuentes de energía renovables



Figura 2: Generación de hidrógeno con fuente de energías renovables

¿Puede un consumidor funcionar de forma duradera con fuentes de energía renovables?

COMPLETE LA TABLA CON LOS DATOS OBTENIDOS DE VOLTAJE		
Tiempo (min)	Circunstancias	Voltaje en el consumidor [V]
3	Día (luz y viento)	4,2
3	Noche (viento)	4,2
3	Ausencia de viento (luz)	4,2

Tabla 2: Datos obtenidos del software

Observaciones

Se llega a los 4V en cualquier circunstancia, el consumidor absorbe la energía de la pila rápidamente en 21seg, y se demora en cargar a los 4,2V de nuevo en 43seg.

¿Qué fuente de energía genera más hidrógeno?



Figura 3: Generación de hidrógeno con generador eólico



Figura 4: Generación de hidrógeno con módulo solar

COMPLETE LA TABLA CON LOS DATOS OBTENIDOS DE HIDRÓGENO		
Tiempo (min)	Generador eólico Cantidad de hidrógeno generado (cm ³)	Módulo solar Cantidad de hidrógeno generado (cm ³)
1	2	4
2	3	7
3	5	11

Tabla 3: Datos obtenidos del software

Observaciones

Como se puede observar, la fuente de energía que genera más hidrógeno es el módulo solar con una cantidad de 11cm^3 con un tiempo de 3min.

8. CUESTIONARIO

Preguntas sobre el experimento

1. *¿Puede un consumidor funcionar de forma duradera con fuentes de energía renovables?*

Se ha podido observar que no es suficiente alimentar el consumidor únicamente con energía solar o eólica, durante la noche (sin usar los módulos solares) no se consiguió una alimentación suficiente para el consumidor. Estas fases se pudieron superar generando hidrógeno para el almacenamiento intermedio y convirtiéndolo en electricidad a través de la pila de combustible.

2. *¿Qué fuente de energía genera más hidrógeno?*

Con los módulos solares se pudo generar considerablemente más energía

3. *¿Qué factores se deben tener en cuenta para que un consumidor pueda funcionar de forma duradera con fuentes de energía renovables?*

Ni el viento ni el sol están libremente disponibles las 24 horas del día, durante los tiempos en que no están disponibles o sólo en cantidades muy reducidas, conviene almacenar la energía generada durante el día y con vientos fuertes. Los almacenes y la pila de combustible deben estar dimensionados de manera que pueda alimentar el consumidor durante la noche y en ausencia de viento durante un tiempo prolongado.

4. *¿En qué medida se han confirmado las declaraciones anteriores (qué fuente de energía ha producido más hidrógeno)?*

Los módulos solares han producido considerablemente más hidrógeno.

Preguntas generales

5. *¿Qué son las células solares?*

Células solares son componentes de silicio dotados que pueden liberar energía eléctrica de la luz. Tienen una estructura similar a los diodos. En las células solares, el flujo de la carga queda influido por la luz. [5]

Preguntas de comprensión

6. ¿Qué ventaja adicional conlleva el uso de pilas de combustible en la navegación aeroespacial?

Después de la generación de electricidad se dispone, como producto de reacción, de agua que se puede utilizar para otros fines (aunque no sea potable en su forma pura).

9. CONCLUSIONES

Que puede concluir acerca de la simulación de noche, día, con o sin viento.

En las pruebas que se realizó, medimos un tiempo de 3 minutos y las circunstancias fueron con ausencia de viento y noche (sin los módulos solares) pero en ambas situaciones se produjo 4,2V en la pila de combustible, con la diferencia de que con los módulos solares se produce más hidrógeno.

Pero al conectar un consumidor, en este caso la casita, la pila se descarga rápidamente, al medir con un multímetro se ve que baja el voltaje de 4V a 0V en 20 segundos.

Que puede concluir acerca de la producción de hidrógeno con el generador eólico vs módulos solares.

Los tiempos usados para tomar medidas fueron 1, 2 y 3 minutos, usando únicamente el generador eólico se generó 5cm³ de hidrógeno mientras que usando solo los módulos se generó 11 cm³. Esto quiere decir que los módulos en este experimento generan más hidrógeno, la razón es porque usamos dos módulos y conexión en paralelo.

10. BIBLIOGRAFÍA

[1] “Energías renovables”, [en línea] < <http://twenergy.com/energias-renovables>

[2] “Energías renovables”, 23 de Marzo de 2012, [en línea] < <http://twenergy.com/a/que-son-las-energias-renovables-516>

[3] GONZÁLES M., “Electrólisis del agua”, 8 de Octubre de 2010 [en línea] < <http://quimica.laguia2000.com/enlaces-quimicos/electrolisis-del-agua>

[4] “Pilas de combustible” [en línea] < <http://www.pilasde.com/tecnologia-del-hidrogeno/pilas-de-combustible>

[5] “Célula solar”, [en línea] < https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=GaQ1VLG_JMPd8gePsoHYBw&gws_rd=ssl#q=celula+solar

PRÁCTICA N°	TIEMPO ESTIMADO	TEMA	INTEGRANTES
2	30 min	ORIENTACIÓN ÓPTIMA DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES.	_____ _____ _____

1. OBJETIVOS

- Combinar las fuentes de energía renovables para conseguir un balance energético racional.
- Observar el comportamiento del consumidor y la producción de hidrógeno.
- Encontrar la variante más económica para cada emplazamiento.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Sistemas Híbridos

Los sistemas de energía solar y eólica combinados se conocen como sistemas híbridos. Ambas formas de energía renovables están disponibles en abundancia para todo el mundo de forma gratuita. La energía solar puede ayudar a calentar o enfriar las habitaciones de tu casa, calentar el agua para uso doméstico, calentar tu piscina o para utilizar tus aparatos eléctricos. La energía eólica puede producir suficiente electricidad para abastecer tu casa la mayor parte del tiempo, y en un sistema de conexión a red, se proporcionan energía excedente a la red, para lo que serás retribuido. [1]

El uso de energía solar y eólica de una forma combinada se está abriendo camino en el mercado con innovaciones como la “SolarWind turbine” de la empresa americana Bluenergy, el primer sistema híbrido que se comercializa después de varios años de desarrollo. Es, básicamente, un generador de viento helicoidal cuya superficie está cubierta de células fotovoltaicas.

Ya existen turbinas eólicas helicoidales, pero la belleza de este modelo radica en su diseño estético y su eficacia: cuando brilla el sol se acumula la energía; cuando sopla el viento (de hasta 144 km por hora) también recoge energía. Gracias a la combinación de ambos tipos de generación, la turbina es capaz de rendir en condiciones de poco viento y baja insolación.

El principal problema de las energías renovables para hacerlas plenamente rentables es que el sol no sale todos los días. Tampoco el aire está siempre en movimiento. La turbina SolarWind, sin embargo, tiene el potencial de suavizar este problema de generación intermitente.

Debido al diseño helicoidal y al supuesto giro de la turbina, aún con viento casi inexistente (sólo necesitan un mínimo de una brisa de 6 km/h para operar), las células fotovoltaicas reciben todas en su conjunto la máxima cobertura de sol.

Las células solares están recubiertas y encapsuladas con un fluoropolímero (una película transparente) que permite la captura de la luz solar desde cualquier ángulo y que las permite adherirse a las superficies curvas. Además, estas células no necesitan refrigeración ni limpieza, ya la brisa del giro se encarga de ello. Su diseño también permite a la turbina captar vientos multi-direccionales, aumentando su eficacia en un 50% frente a las turbinas de hélice tradicionales. [2]



Figura1. Sistema híbrido de energía renovable.

Costos del sistema.

Ambos sistemas de energía solar y eólica ofrecen ahorros notables en las facturas, después de la inversión inicial. Un sistema de energía solar instalado profesionalmente para un promedio de gastos del hogar es de alrededor de US\$3.000 a US\$4.000, pero los sistemas caseros se pueden hacer por mucho menos. Un sistema de energía eólica es mucho más caro, con la instalación profesional de entre US\$35.000 y US\$50.000. [1]

Instalación.

Los paquetes de energía eólica y solar se pueden obtener de empresas de energía solar calificadas en la mayoría de los estados, y el instalador se adapta al precio para satisfacer las necesidades y el presupuesto. El paquete debe incluir todos los componentes necesarios para su funcionamiento, y la instalación completa y puesta en marcha. Asegúrate de que el trabajo esté garantizado y que el servicio profesional y el mantenimiento regular esté incluido en el acuerdo. [1]

Sistema híbrido de alumbrado eólico - solar.

El sistema híbrido de alumbrado eólico-solar utiliza naturalmente el viento y la luz del sol como fuente de energía. El generador eólico y la célula solar, respectivamente, convierten la energía eólica y la solar en energía eléctrica, a fin de proveer electricidad al sistema de alumbrado.

El generador eólico y la célula solar pueden generar energía en forma independiente o conjunta. Pueden utilizar la energía eólica en días nublados y lluviosos o durante la noche, o la energía solar en días sin viento, de modo de generar en forma complementaria tanto con energía eólica como solar. Al mismo tiempo, el sistema está equipado con un acumulador que asegura el funcionamiento normal del sistema de alumbrado bajo condiciones de falta de viento y luz solar.

Las energías eólica y solar requeridas son fuentes de energía natural y ecológica, por lo que no causan contaminación ambiental. El producto puede utilizarse para el alumbrado de rutas, canchas, paisajes, lámparas de publicidad, etc. tanto en ciudades grandes como pequeñas. Es el equipo de iluminación especialmente ideado para lugares con poca electricidad o que están lejos de una red eléctrica. [3]

3. ESQUEMA

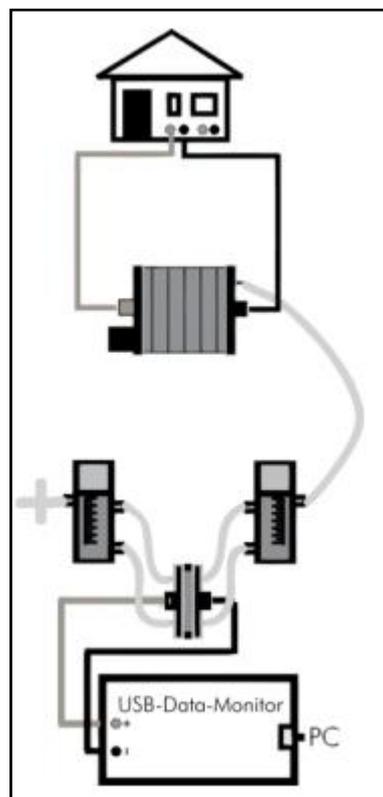


Figura 2: Esquema

4. MATERIALES

1 Electrolizador	Agua destilada
2 Acumuladores	4 Cables: 2 negro, 2 rojo
6 Mangueras de conexión	USB-Data-Monitor y PC
2 Tapones de cierre	Cronómetro
1 Pila de combustible	1 Ventilador

Tabla 1: Materiales

5. INSTRUCCIONES

- Arme la configuración de ensayo según lo mostrado en la figura 2.
- Produzca 30 cm³ de hidrógeno.
- Abra la salida de hidrógeno de la pila de combustible durante 1 segundo.
- Ajuste 15 cm³ de hidrógeno en el acumulador.
- Inicie el software.
- Combine un emplazamiento en el software (p. ej., poco viento, mucho sol).
- Inicie la simulación.
El software simula las condiciones de sol y viento durante 24 horas en 2 minutos.
- Observe el consumidor y el nivel de hidrógeno.
- Encuentre la variante más económica para cada emplazamiento. El consumidor debe ser alimentado continuamente con electricidad.

7. DESARROLLO

Emplazamiento en el software: nada de sol – poco viento

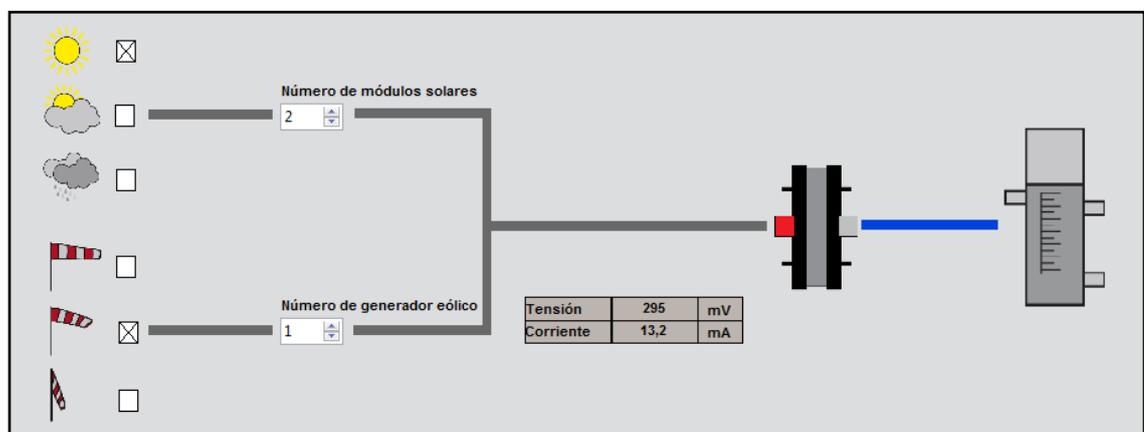


Figura 3: Configuración en el software

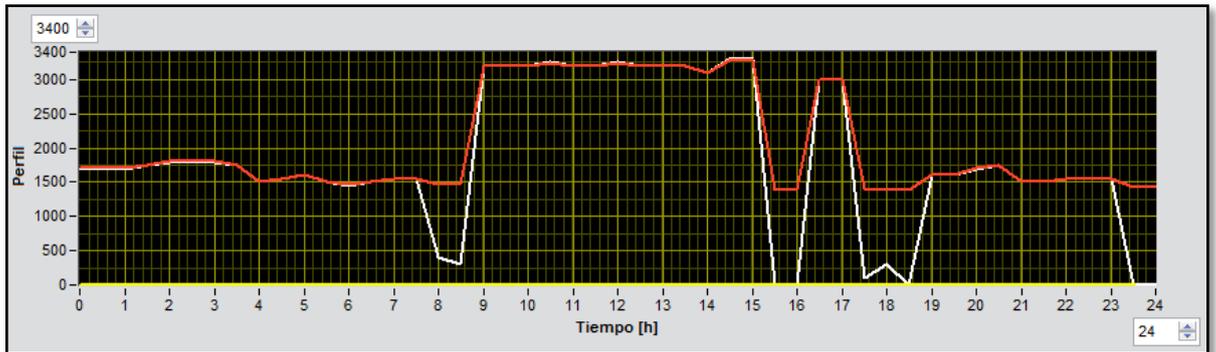


Figura 4. Gráfica del perfil de generador simulado (4 min = 24 h)

Emplazamiento en el software: mucho sol – mucho viento

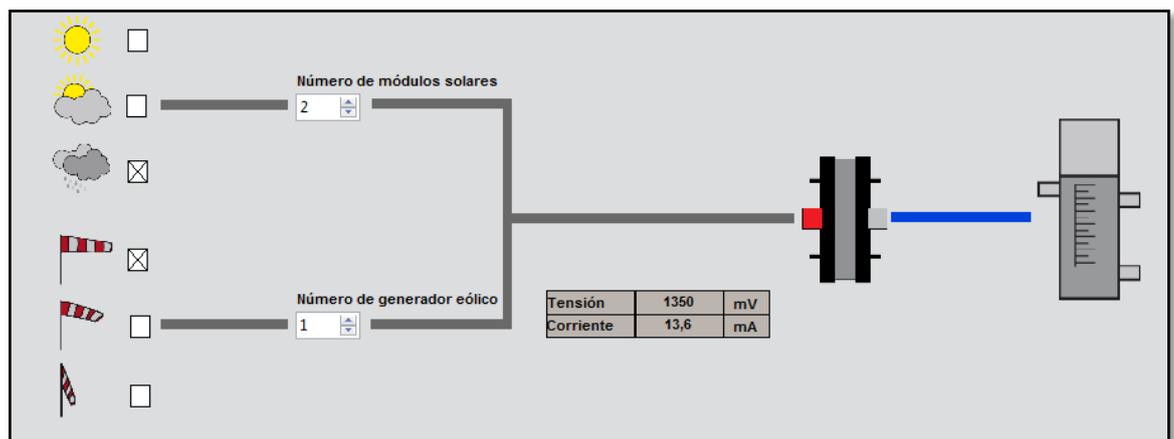


Figura 5: Configuración en el software

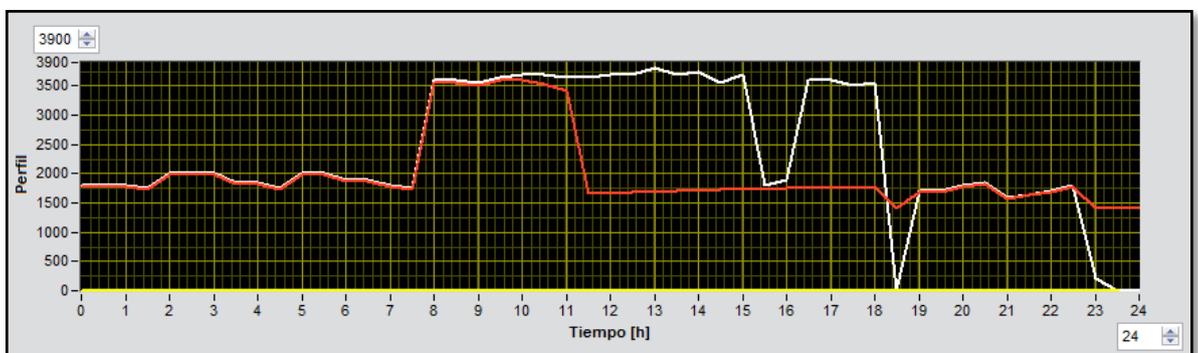


Figura 6: Gráfica del perfil de generador simulado (4 min = 24 h)

Emplazamiento en el software: poco sol – mucho viento

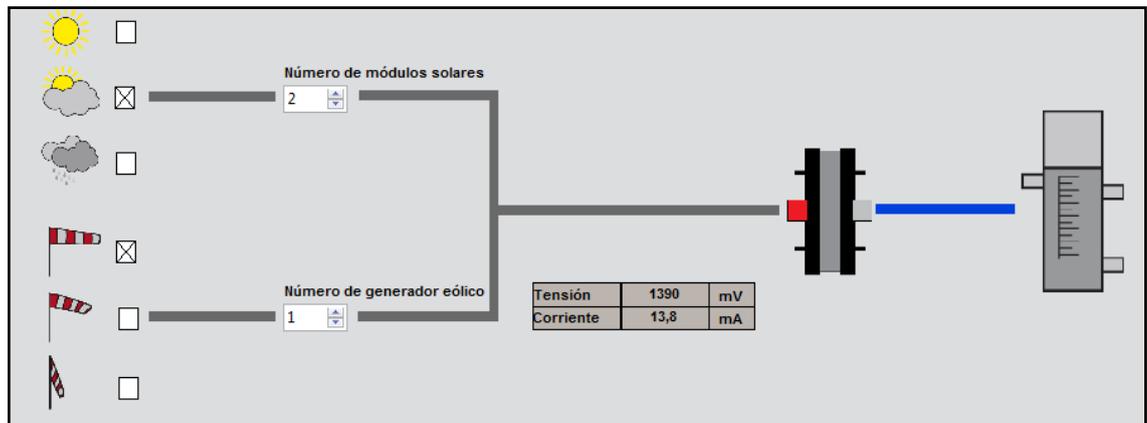


Figura 7: Configuración del software

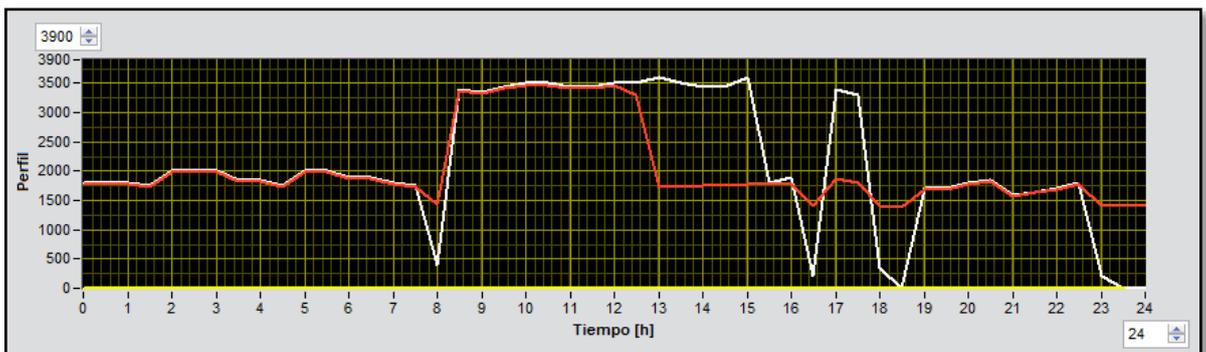


Figura 8: Gráfica del perfil de generador simulado (4 min = 24 h)

Emplazamiento en el software: mucho sol – nada de viento

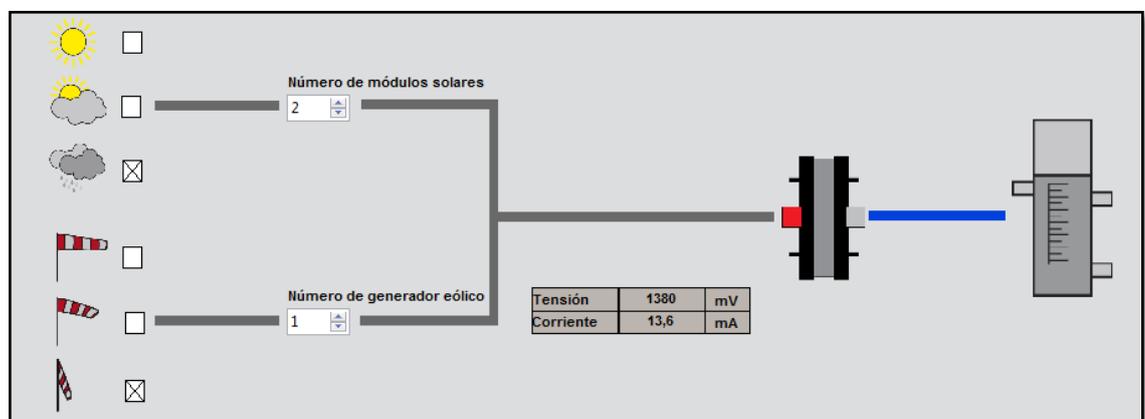


Figura 9: Configuración del software

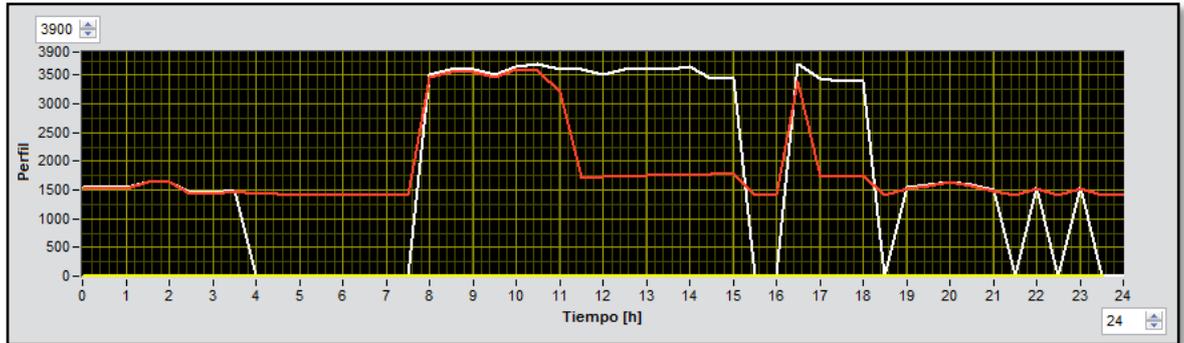


Figura 10: Gráfica del perfil de generador simulado (4 min = 24 h)

Gráfica comparativa de los emplazamientos

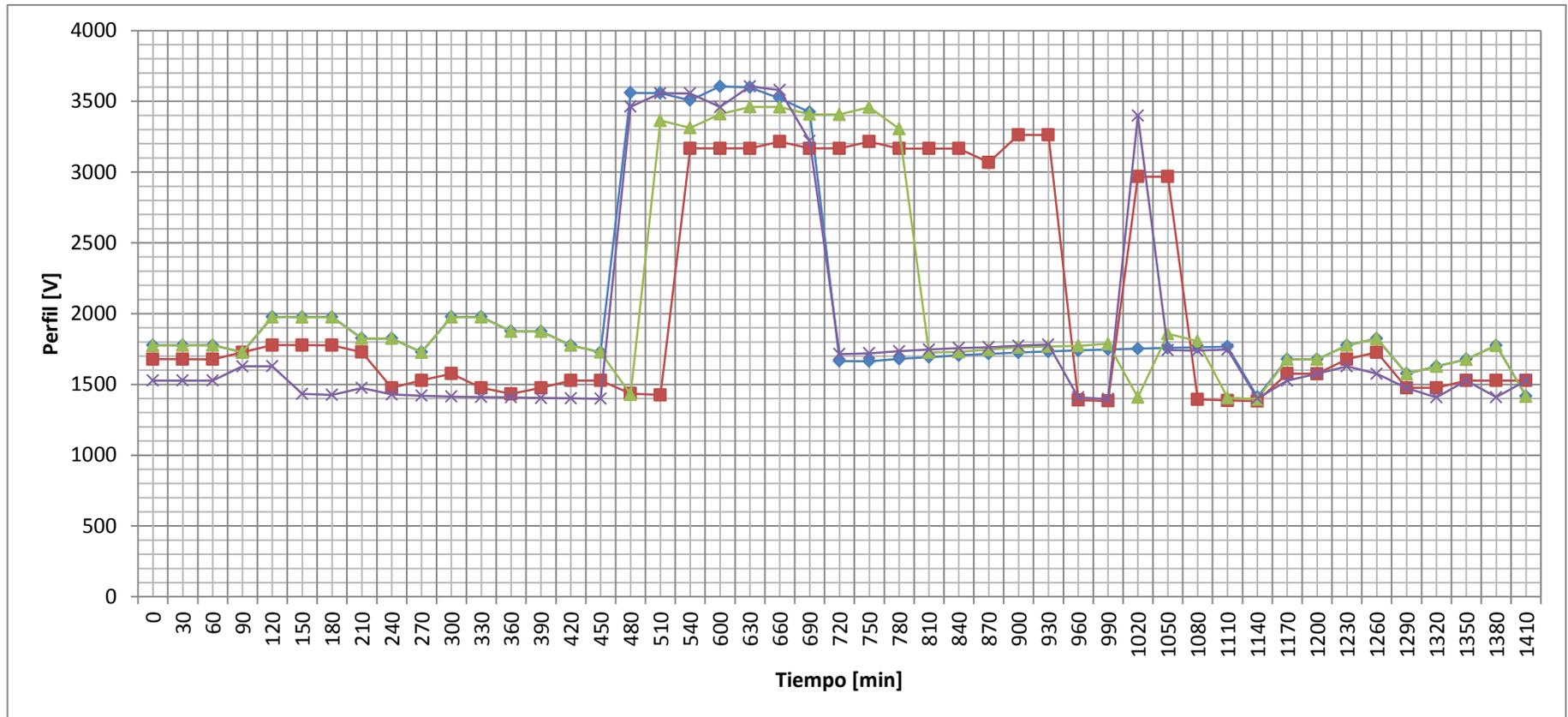


Gráfico 1: Comparación de los diferentes emplazamientos

- mucho sol - mucho viento
- nada sol - poco viento
- ▲— poco sol - mucho viento
- ×— mucho sol - nada de viento

8. CUESTIONARIO

Preguntas sobre el experimento

7. *¿En qué lugar de la tierra se podrían encontrar emplazamientos adecuados para una combinación de energía eólica, energía solar y técnica de pilas de combustible?*

Lo ideal son emplazamientos donde hay mucho viento y sol, este tipo de emplazamiento se podría encontrar, por ejemplo en el Caribe o en la costa de Queensland en Australia.

Preguntas generales

8. *¿Qué son los parques eólicos?*

Los parques eólicos son un conjunto de aerogeneradores, un conjunto de más de tres aerogeneradores se denomina como parque eólico [4]

9. *¿Qué es un parque eólico offshore?*

La palabra "offshore" (inglés) se puede traducir como "fuera las aguas costeras" o "en alta mar". Los parques eólicos offshore son aerogeneradores construidos en el mar. [5]

10. *¿Qué es un parque eólico onshore?*

La palabra "onshore" (inglés) se puede traducir como "en tierra". Los parques eólicos onshore son aerogeneradores construidos en tierra. [6]

Preguntas de comprensión

11. *¿Qué se necesita hacer para conducir la electricidad generada de los aerogeneradores por distancias largas?*

La corriente alterna producida por los aerogeneradores sufre pérdidas considerables en las líneas. Las pérdidas son tan elevadas que, con una longitud aproximada de más de 100 km, no llega electricidad hasta la tierra firme. Es necesario intercalar unos rectificadores que convierten la corriente alterna en corriente continua. Ésta supera grandes distancias con unas pérdidas netamente menores.

12. *¿Por qué conviene construir aerogeneradores en el mar?*

En el mar se dan los vientos más continuos a alturas reducidas, la instalación de aerogeneradores en tierra (onshore) es fuertemente criticada en muchas zonas por su impacto visual en el paisaje. Este caso no se produce en el mar.

13. *¿Qué argumentos hay en contra de la ampliación de los "parques eólicos" en el mar?*

La electricidad generada se tiene que conducir por largas distancias hasta la red eléctrica. Esto resulta técnicamente complejo y caro y conlleva pérdidas.

El anclaje de la construcción en el mar plantea grandes dificultades y conlleva generalmente costes elevados. Se está discutiendo si los ruidos generados por los parques eólicos offshore repercuten negativamente en la fauna marina.

9. CONCLUSIONES

Que puede concluir acerca de los diferentes emplazamientos y su perfil de generación.

A partir de los 15 cm³ generados de hidrógeno empieza el experimento, la producción de hidrógeno se genera precipitadamente cuando llega al medio día según la simulación del software de 24 horas, esto se debe a que a medio día hay más sol.

También se puede observar en el consumidor que la bombilla se enciende con una intensidad de luz mínima, a medida que sigue generando hidrógeno hasta los 30 cm³ la bombilla presenta una intensidad de luz mayor, debido a que existe mayor cantidad de hidrógeno a la entrada de la pila de combustible y por lo tanto ésta genera más energía eléctrica para abastecer al consumidor.

Respecto a las diferentes gráficas de los perfiles tenemos un mayor rendimiento cuando hay mucho sol y mucho viento.

Una vez terminado el tiempo de alimentación al electrolizador, se procede a desconectar el mismo, en ese momento continuó consumiendo hidrógeno la pila de combustible hasta llegar a 0cm³, de la misma manera hasta ese momento permanece encendida la bombilla del consumidor.

10. BIBLIOGRAFÍA

[1] TRACEY SANDILANDS “Paquete de energía solar y eólica” [en línea] < http://www.ehowenespanol.com/paquetes-energia-solar-eolica-info_422994/

[2] CIVANTOS D. “Energía solar y eólica combinada mediante turbinas helicoidales” [en línea] < <http://www.ecogaia.com/energia-solar-y-eolica-combinada-mediante-turbinas-helicoidales.html>

[3] S.R.L. “Sistema combinado de energía eólica-solar”, Av. la plata, Ciudad autónoma de Buenos Aires, Argentina, [en línea] < http://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/252/sistema_combinado_de_energia_eolica_solar

[4] PHILIPP M. “Montaje y mantenimiento de parque eólicos” [en línea] < <http://www.maecoeolica.com/parque.html>

[5] MORENO FIGEROA C., “Parque eólicos marítimos” [en línea] < <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia35/HTML/articulo05.htm>

[6] VALLECILLO CAPERON S. “Parque eólicos onshore” [en línea] < <https://es.scribd.com/doc/59209056/Parques-Eolicos-Onshore>

PRACTICA N°	TIEMPO ESTIMADO	TEMA	INTEGRANTES
3	30 min	USO DE VARIOS CONSUMIDORES CON PILA DE COMBUSTIBLE.	_____ _____ _____

1. OBJETIVOS

- Probar diferentes perfiles de consumidores con el software y analizar los resultados.
- Graficar los perfiles de consumo según diversas alternativas de consumo.
- Determinar cuál es el perfil con de funcionamiento con mejores resultados con la pila de combustible.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Energías Renovables.

Las energías renovables son aquellas energías que provienen de recursos naturales que no se agotan y a los que se puede recurrir de manera permanente. Su impacto ambiental es nulo en la emisión de gases de efecto invernadero como el CO₂. Se consideran energías renovables la energía solar, la eólica, la geotérmica, la hidráulica y la eléctrica. También pueden incluirse en este grupo la biomasa y la energía mareomotriz. [1]

Las energías renovables son la alternativa más limpia para el medio ambiente. Se encuentran en la naturaleza en una cantidad ilimitada y, una vez consumidas, se pueden regenerar de manera natural o artificial. Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), frente a las fuentes convencionales, las energías renovables son recursos limpios cuyo impacto es prácticamente nulo y siempre reversible.

Energía eólica. Es la energía cinética producida por el viento. A través de los aerogeneradores o molinos de viento se aprovechan las corrientes de aire y se transforman en electricidad. Dentro de la energía eólica, podemos encontrar la eólica marina, cuyos parques eólicos se encuentran mar adentro.

Energía solar. Este tipo de energía nos la proporciona el sol en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente). El uso de la energía del sol se puede derivar en energía solar térmica (usada para producir agua caliente de baja temperatura para uso sanitario y calefacción) solar fotovoltaica (a través de placas de semiconductores que se alteran con la radiación solar), etc. [2]

Electrólisis.

La electrólisis del agua es la descomposición de agua (H_2O) en oxígeno (O_2) y de hidrógeno gas (H_2) debido a una corriente eléctrica que pasa a través del agua.

Una fuente de alimentación eléctrica está conectada a dos electrodos, o dos placas (por lo general hechas de un metal inerte como el platino o acero inoxidable) que se colocan en el agua. En una celda diseñada correctamente, el hidrógeno aparece en el cátodo (el electrodo con carga negativa, donde los electrones entran en el agua), y el oxígeno aparecerá en el ánodo (el electrodo con carga positiva)

Suponiendo el ideal de Faraday de eficiencia, la cantidad de hidrógeno generado es el doble del número de moles de oxígeno, y ambos son proporcionales al total de carga eléctrica llevada a cabo por la solución. Sin embargo, en muchas células compiten reacciones secundarias dominantes, dando lugar a diferentes productos y menos de la eficiencia Faraday ideal. [3]

Pila de combustible.

Las pilas de combustible comprenden una amplia variedad de aplicaciones: desde dispositivos portátiles (ordenadores, teléfonos móviles, pequeños electrodomésticos), vehículos de todo tipo (coches, autobuses, barcos), hasta sistemas estacionarios de generación de calor y energía para empresas, hospitales, zonas residenciales, etc.

Las celdas de combustible son muy útiles como fuentes de energía en lugares remotos, como por ejemplo naves espaciales, estaciones meteorológicas alejadas, parques grandes, localizaciones rurales, y en ciertos usos militares. Un sistema con celda de combustible que funciona con hidrógeno puede ser compacto, ligero y no tiene piezas móviles importantes. [4]

3. ESQUEMA

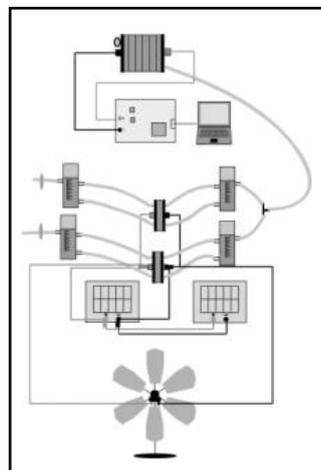


Figura 1.

4. MATERIALES

Electrolizador	Agua destilada
2 Acumuladores	10 Cables: 5 negro, 5 rojo
6 Mangueras de conexión	Fuente de alimentación externa variable
2 Tapones de cierre	Cronómetro
Pila de combustible	2 Módulos solares
Ventilador	Lámpara 75W

Tabla 1: Materiales

5. INSTRUCCIONES

- Arme la configuración de ensayo según lo mostrado en la figura 1.
- Produzca 30 cm³ de hidrógeno.
- Abra la salida de hidrógeno durante 1 segundo.
- Rellene el hidrógeno hasta 15 cm³.
- Inicie el software
- En el software, seleccione la pestaña SIMULAR PERFIL DE CARGA
- Componga cualquier perfil de carga.
- Configure la estructura de manera que el número de fuentes de energías renovables y acumuladoras suministren suficiente cantidad de hidrógeno.
- Inicie el ensayo pulsando el botón INICIO.

6. DESARROLLO

Uso de varios consumidores con pila de combustible



Figura 2: Generación de hidrógeno con fuente de energías renovables

Experimento 1

- Aire plena carga
- Bombilla de bajo consumo
- 1 Ordenador
- Cocina desconectada

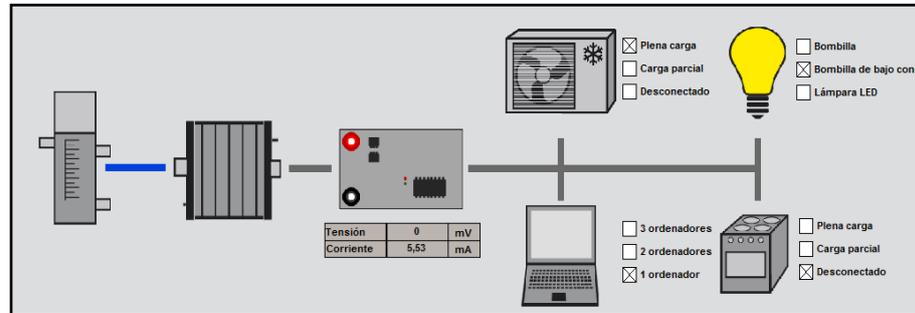
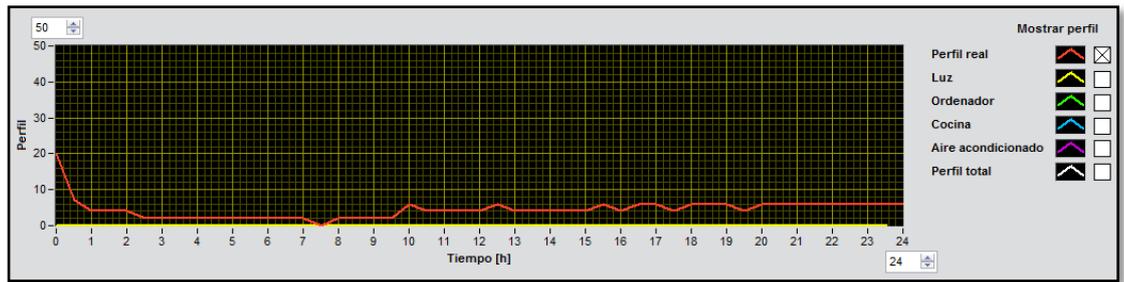


Figura 3: Simulación de perfiles de carga (Software)

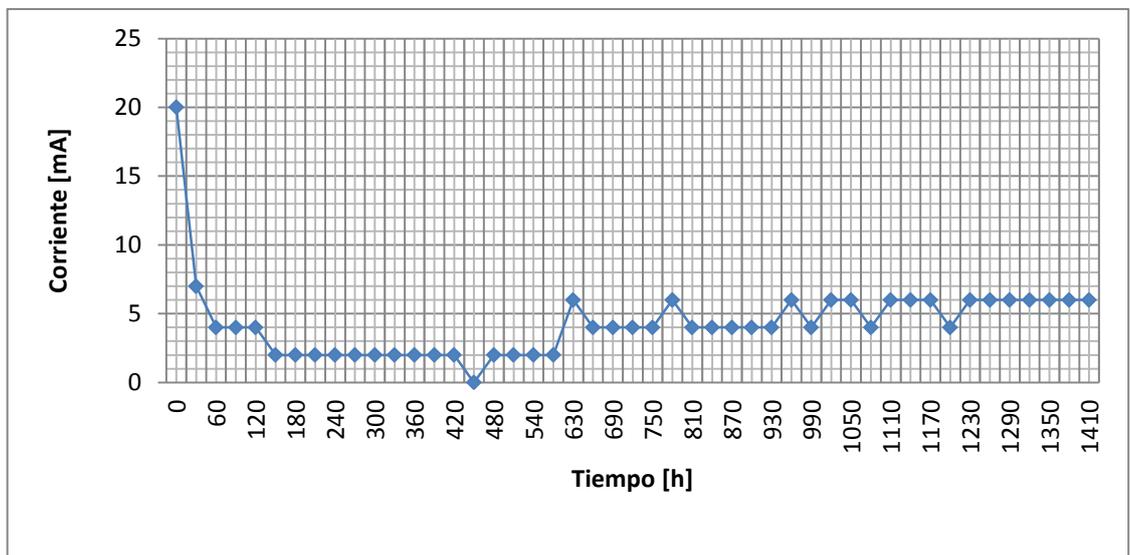
Tiempo [h]	Corriente [mA]
0	20
30	7
60	4
90	4
120	4
150	2
180	2
210	2
240	2
270	2
300	2
330	2
360	2
390	2
420	2
450	0
480	2
510	2
540	2
600	2
630	6
660	4
690	4
720	4

750	4
780	6
810	4
840	4
870	4
900	4
930	4
960	6
990	4
1020	6
1050	6
1080	4
1110	6
1140	6
1170	6
1200	4
1230	6
1260	6
1290	6
1320	6
1350	6
1380	6
1410	6

Tabla 2: Datos obtenidos del software



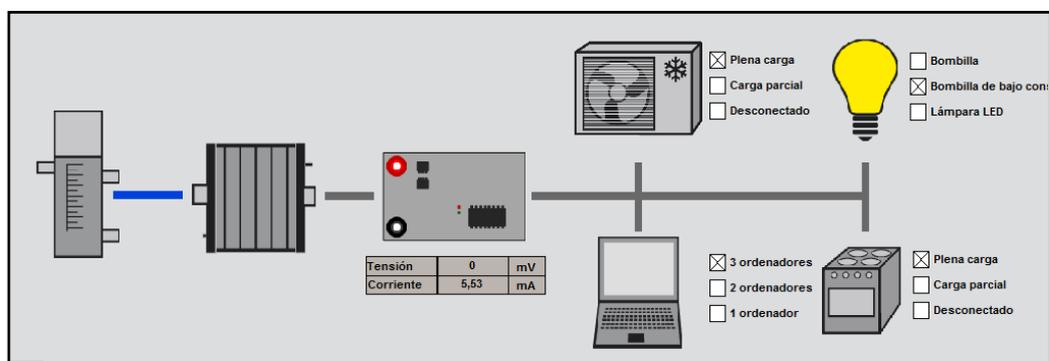
Gráfica 1A: Curva de perfiles de carga (Software)



Gráfica 1B: Curva de perfiles de carga con datos obtenidos del experimento

Experimento 2

- Aire plena carga
- Bombilla de bajo consumo
- 3 Ordenadores
- Cocina plena carga

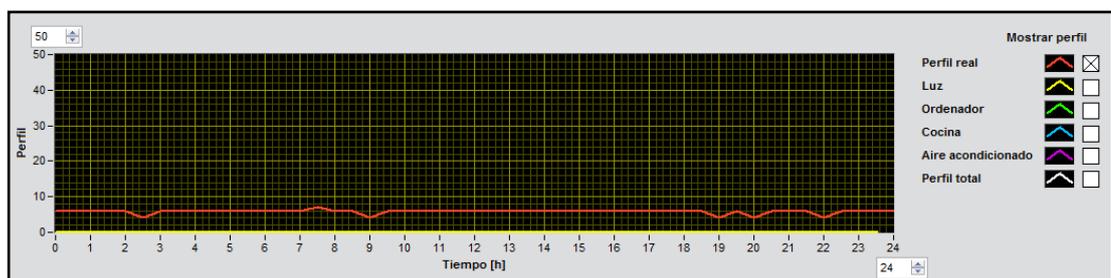


Esquema 2: Simulación de perfiles de carga (Software)

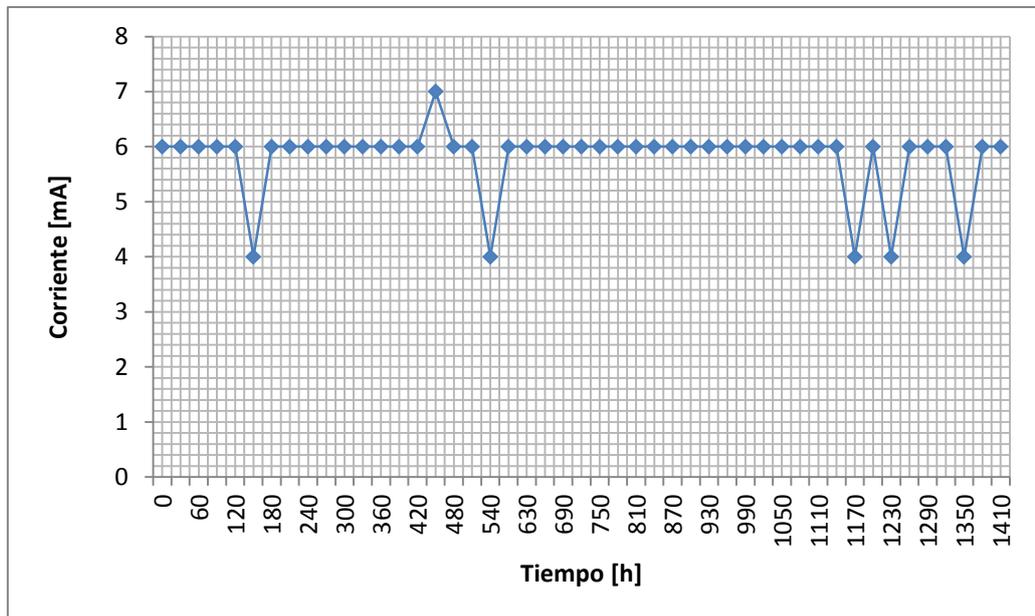
Tiempo [h]	Corriente [mA]
0	6
30	6
60	6
90	6
120	6
150	4
180	6
210	6
240	6
270	6
300	6
330	6
360	6
390	6
420	6
450	7
480	6
510	6
540	4
600	6
630	6
660	6
690	6
720	6

750	6
780	6
810	6
840	6
870	6
900	6
930	6
960	6
990	6
1020	6
1050	6
1080	6
1110	6
1140	6
1170	4
1200	6
1230	4
1260	6
1290	6
1320	6
1350	4
1380	6
1410	6

Tabla 2: Datos obtenidos del software



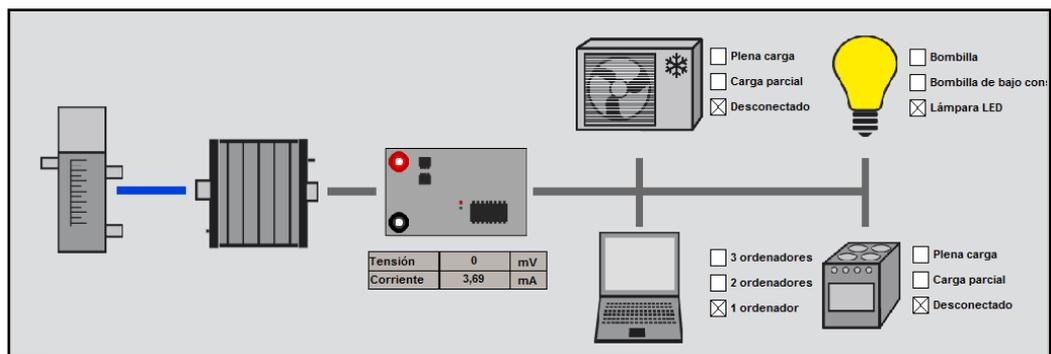
Grafica 2A: Curva de perfiles de carga (Software)



Grafica 2B: Curva de perfiles de carga con datos obtenidos del experimento

Experimento 3

- Aire acondicionado desconectado
- Lámpara Led
- 1 Ordenador
- Cocina desconectado

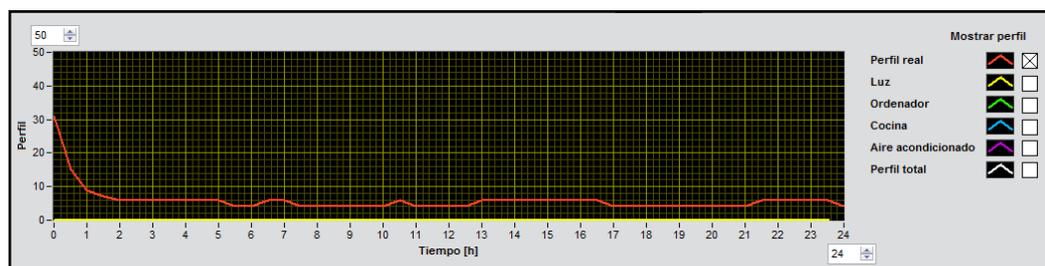


Esquema 3: Simulación de perfiles de carga (Software)

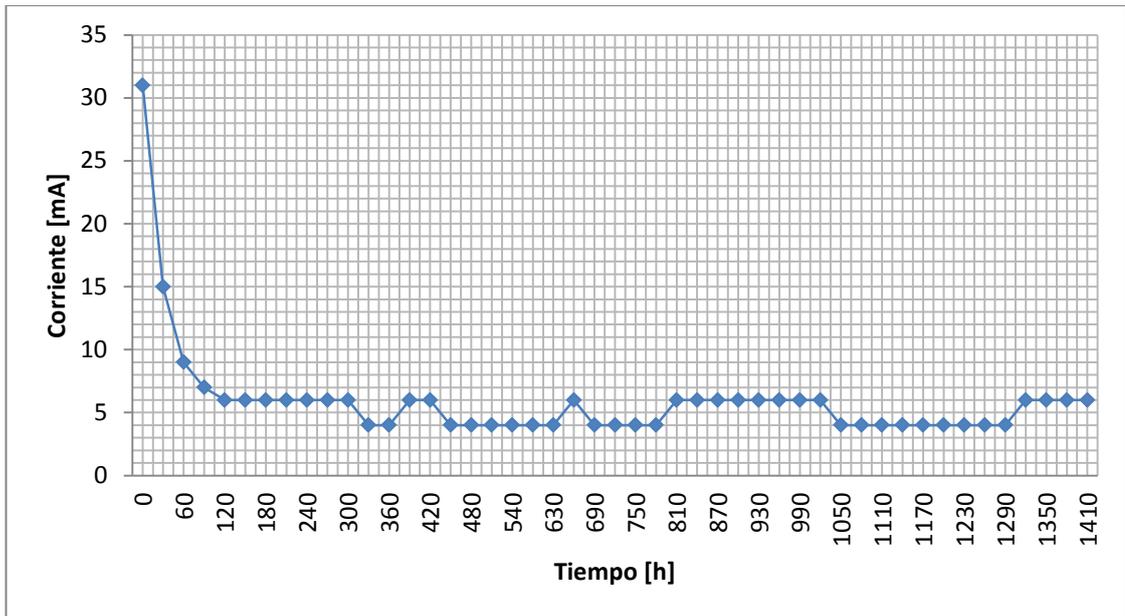
Tiempo [h]	Corriente [mA]
0	31
30	15
60	9
90	7
120	6
150	6
180	6
210	6
240	6
270	6
300	6
330	4
360	4
390	6
420	6
450	4
480	4
510	4
540	4
600	4
630	4
660	6
690	4
720	4

750	4
780	4
810	6
840	6
870	6
900	6
930	6
960	6
990	6
1020	6
1050	4
1080	4
1110	4
1140	4
1170	4
1200	4
1230	4
1260	4
1290	4
1320	6
1350	6
1380	6
1410	6

Tabla 3: Datos obtenidos del software



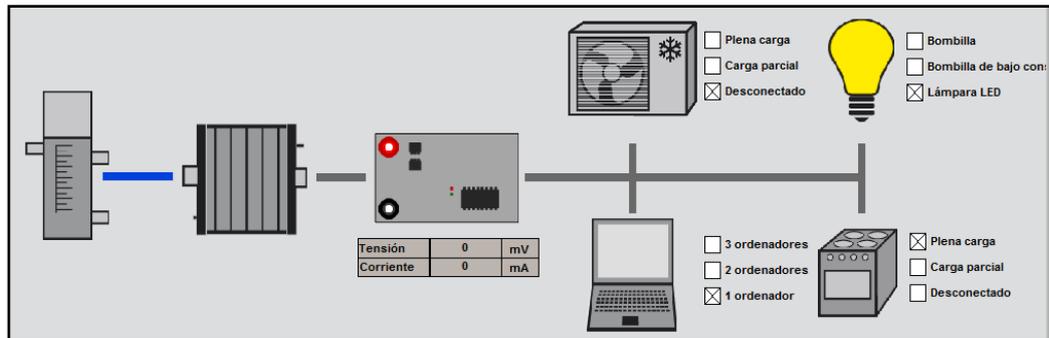
Grafica 3A: Curva de perfiles de carga (Software)



Grafica 3B: Curva de perfiles de carga con datos obtenidos del experimento

Experimento 4

- Aire acondicionado desconectado
- Lámpara Led
- 1 Ordenador
- Cocina plena carga

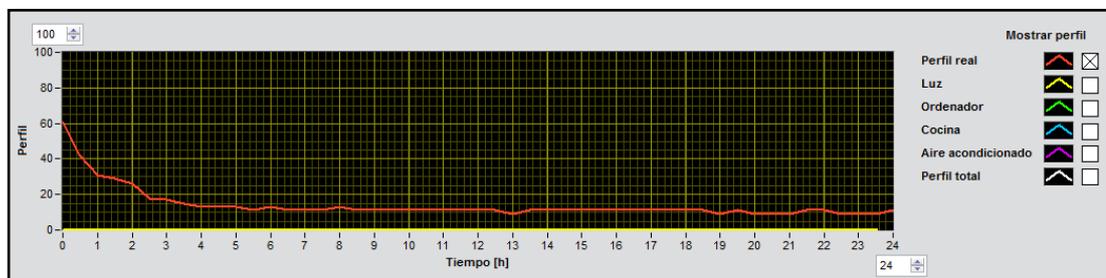


Esquema 4: Simulación de perfiles de carga (Software)

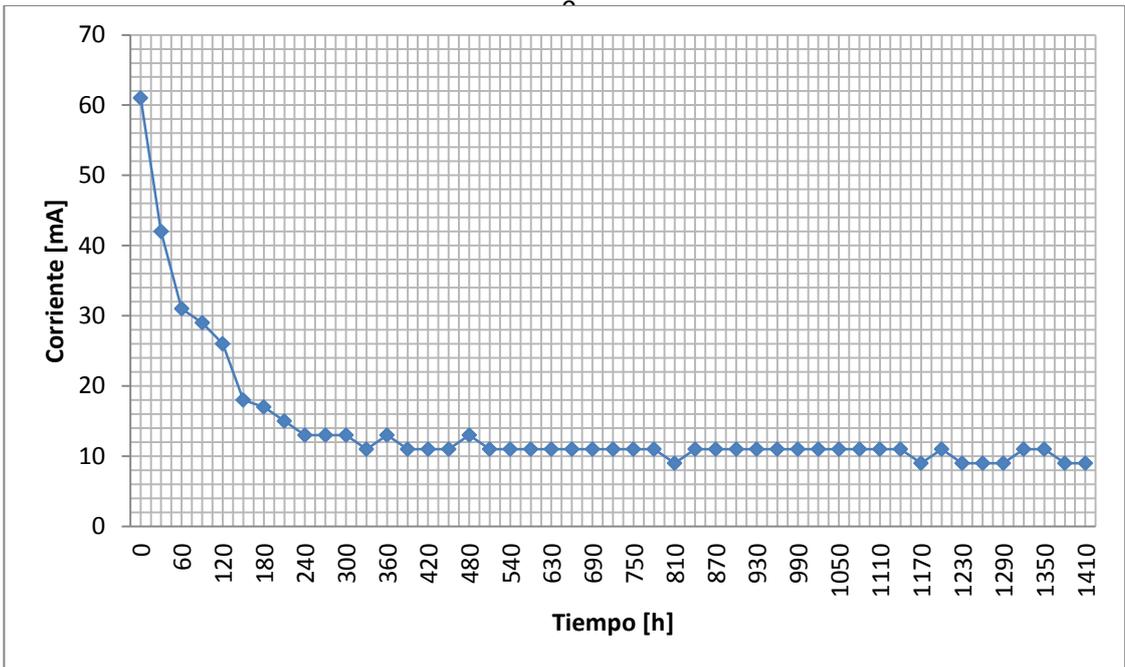
Tiempo [h]	Corriente [mA]
0	61
30	42
60	31
90	29
120	26
150	18
180	17
210	15
240	13
270	13
300	13
330	11
360	13
390	11
420	11
450	11
480	13
510	11
540	11
600	11
630	11
660	11
690	11
720	11

750	11
780	11
810	9
840	11
870	11
900	11
930	11
960	11
990	11
1020	11
1050	11
1080	11
1110	11
1140	11
1170	9
1200	11
1230	9
1260	9
1290	9
1320	11
1350	11
1380	9
1410	9

Tabla 4: Datos obtenidos del software

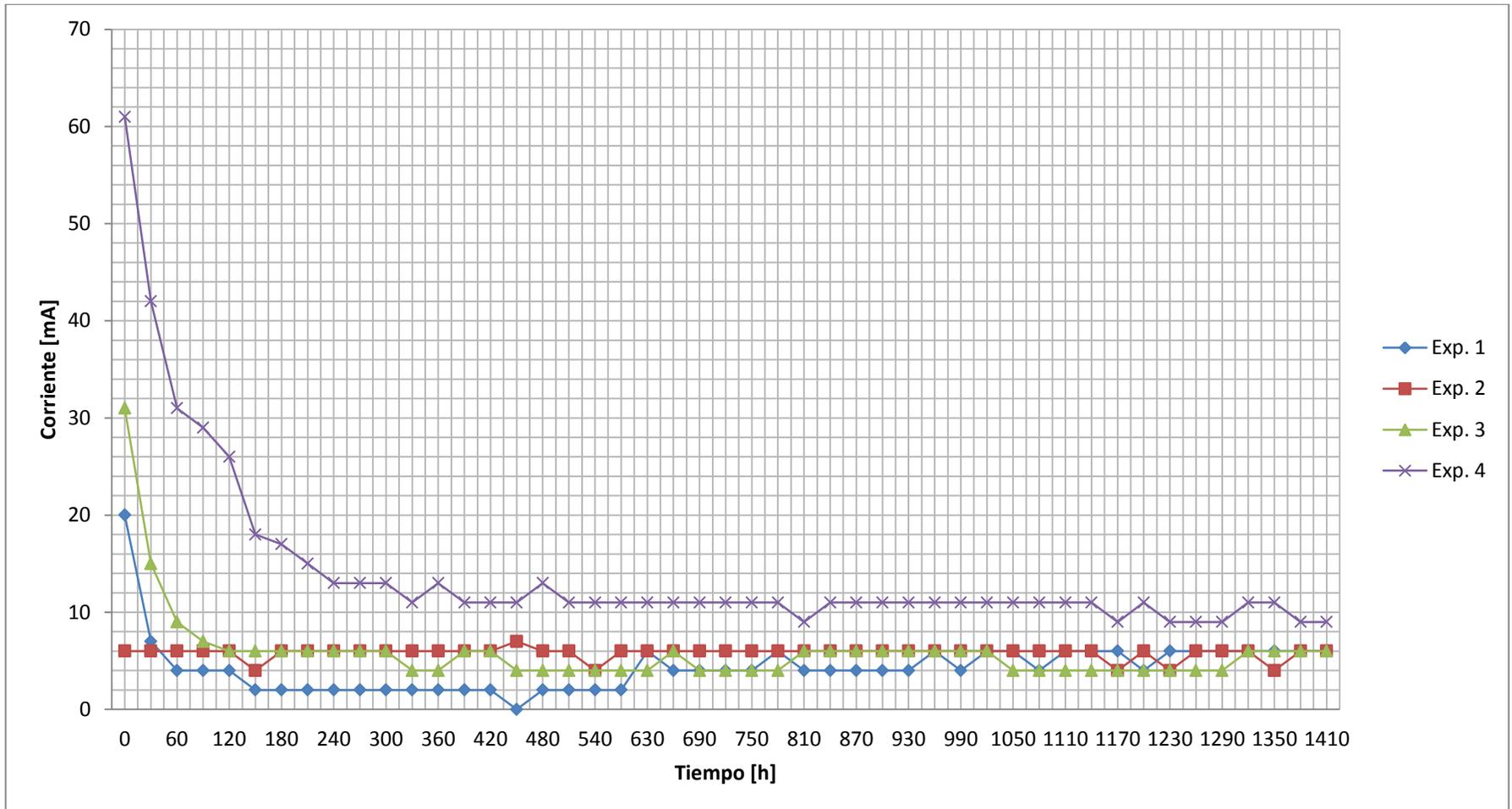


Grafica 4A: Curva de perfiles de carga (Software)



Grafica 4B: Curva de perfiles de carga con datos obtenidos del experimento

OBSERVACIÓN DE CURVAS



156

Grafica 5: Curva con todos los perfiles de carga

7. CUESTIONARIO

Preguntas sobre el experimento

14. ¿Qué conocimientos se han podido extraer del experimento realizado?

Es importante saber qué demanda de energía deberá cubrir el sistema instalado a partir de energías regenerativas. Igual de importante es saber cuáles son los rendimientos de sol y viento predominantes que se podrán esperar, en promedio, en la zona en la cual se encontrará el edificio autónomo. Una vez que se conozcan estos datos, se puede elegir la combinación más adecuada de fuentes de energía regenerativas para la constelación en cuestión.

Preguntas generales

15. ¿Qué significa regenerativo?

La palabra "regenerativo" es el adjetivo de "regeneración" que significa "restablecimiento, recuperación, renovación, refresco". Por esta razón, las energías renovables también se pueden denominar como "energías regenerativas". [5]

16. ¿A qué 5 grupos principales se pueden asignar las energías renovables?

- Bioenergía (a partir de biomasa de diversas formas; ver los artículos Combustible biógeno y Biocombustible)
- Fuerza hidráulica
 - Diques de contención y presas
 - Fuerza mareomotriz
 - Centrales eléctricas fluviales
 - Energía del oleaje del mar
 - Energía de flujo del mar.
 - Energía térmica marítima
 - Central osmótica (contenido de sal distinto de agua dulce y agua salada)
- Energía eólica
 - Aerogenerador
 - Planta eólica con corriente de aire ascendente o térmica
 - Planta eólica con corriente de aire descendente
- Energía solar
 - Fotovoltaica (instalación fotovoltaica)
 - Energía solar térmica (colector solar, central solar térmica)
 - Química solar
 - Energía térmica (central térmica)
- Energía geotérmica
 - Geotermia profunda
 - Geotermia de superficie

- Frío por evaporación
- Refrigeración adiabática [6]

17. ¿Qué centrales eléctricas existen para utilizar la energía solar?

- Plantas solares térmicas (chimeneas solares, centrales con colectores cilindro-parabólicos, centrales de torre solar)
- Plantas solares fotovoltaicas
- Plantas solares termoeléctricas [6]

18. ¿Cuál es la fuente de energía renovable que el hombre lleva utilizando más tiempo para sus fines?

La fuerza hidráulica; con ruedas hidráulicas en ríos y torrentes se accionaban molinos de cereales (molinos de agua). [7]

8. CONCLUSIONES

Que puede concluir acerca de la simulación de diferentes perfiles de carga.

En la práctica realizada se puede notar que hay diferencias cuando se cambian los perfiles del consumidor, para ello el software nos da algunas alternativas para cambiarlas y combinarlas con la finalidad de entender el proceso.

Como ejemplo tenemos 4 equipos que pueden funcionar a diferentes intensidades o incluso simularlos como si estuvieran desconectados.

Cuando el consumidor no representa una carga grande la pila de combustible abastece su energía por más tiempo, no así cuando el consumidor se encuentra al máximo la pila se descarga con facilidad. Y los valores de corriente cambian también siendo mayores con una carga que exige mayor energía.

9. BIBLIOGRAFÍA

[1] TWENERGY “Energías renovables” [en línea] < <http://twenergy.com/energias-renovables>

[2] TWENERGY “Energías renovables” [en línea] < <http://twenergy.com/a/que-son-las-energias-renovables-516>

[3] GONZÁLEZ M., “Electrolisis del agua” Publicado: 8 de octubre de 2010 [en línea] < <http://quimica.laguia2000.com/enlaces-quimicos/electrolisis-del-agua>

[4] “Pila de combustible” [en línea] < <http://www.pilasde.com/tecnologia-del-hidrogeno/pilas-de-combustible>

[5] “Diccionario de la lengua española” [en línea] < <http://lema.rae.es/drae/?val=regenerar>

[6] A. Madrid, *Energías renovables fundamentos, tecnologías y aplicaciones: solar, eólica, biomasa, geotérmica, hidráulica, pilas de combustible, cogeneración y fusión nuclear*. Madrid: AMV Ediciones Mundiprensa, 2009.

[7] A. Madrid. *Guía completa de las energías renovables y fósiles*. Madrid: A Madrid Vicente Ediciones. 2012

CONCLUSIONES

- En esta tesis se han analizado varios sistemas por separado y finalmente la combinación, también llamados sistemas híbridos de energía renovable, en cada sistema se ha podido determinar que las variables en análisis permiten cambiar los valores de tensión o corriente; éstos a su vez, hacen una representación de lo que puede ocurrir en un sistema real.
- En las prácticas de los módulos solares se ha estudiado que el ángulo de incidencia de la luz solar o ángulo de posición del módulo, altera los valores de tensión; dicho esto los valores más altos de potencia se presentan cuando la luz incide directamente y con un ángulo de 90° respecto al módulo solar; las gráficas realizadas en cada experiencia demuestran de manera clara este comportamiento. Conforme la luz incide en otros ángulos la tensión disminuye, aunque esto no quiere decir que la tensión sea nula; estos pueden ser los casos de incidencia de luz solar en las primeras horas de la mañana o tarde. Además la luz cuando no ingresa directamente al módulo ya sea por obstáculos como sombras, nubes, etc., disminuye la tensión generada, para las prácticas se han utilizado diferentes obstáculos que se han ubicado manualmente hasta completar la medición, los resultados fueron una escasa generación de energía eléctrica. Respecto al equipo CLEAN ENERGY TRAINER las bases magnéticas de los módulos fueron de mucha utilidad para ubicar diferentes ángulos, otra cuestión es que la lámpara no debe acercarse demasiado (mín. 50 cm) a los módulos ya que éstos pueden quemarse o sobrecalentarse.
- En las prácticas del generador eólico se analizó la posición de las aspas, esto influye en gran medida porque hay determinadas posiciones que no permiten el movimiento del rotor, la posición más adecuada fue a un ángulo de $157,5^\circ$ con este ángulo el viento se transmite hacia las demás aspas sin muchas pérdidas de energía; al contrario de recibir al viento con un ángulo de 0° , la energía eólica choca de forma perpendicular al viento y el rotor no gira. Otra variable fue el número de aspas y como conclusión se puede determinar que las razones por las que no se usa un número mayor de aspas es por los costos que esto conlleva, por el peso, la construcción y la inercia que debería vencer el viento para moverla, razones por las cuales los generadores más usados son

los tripalas porque son eficientes y aunque con más aspas esta eficiencia puede aumentar este sería mínimo si se compara a las desventajas antes mencionadas.

- En las prácticas de electrólisis se pudo notar que hay una tensión requerida para que el proceso inicie, este es de 1.6 V; con esta tensión se puede apreciar burbujos en el electrolizador lo que indica que el agua empieza a descomponerse en hidrógeno y oxígeno, cuando la tensión aumenta el proceso se acelera; en los acumuladores se almacena el oxígeno y el hidrógeno, este último servirá como combustible para la pila mientras que el oxígeno no se utiliza. Se puede notar al momento del proceso que el hidrógeno aumenta en doble proporción respecto al oxígeno esto ocurre porque el agua está compuesta por dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno.
- Para el uso de la pila de combustible es necesario contar con hidrógeno, este gas fluye por unas mangueras en las cuales se puede controlar el paso del mismo; la pila entonces genera energía eléctrica siempre y cuando haya alimentación de hidrógeno, en la práctica hay que dejar pasar el hidrógeno completamente por un periodo corto de tiempo antes de empezar a generar electricidad. Se puede notar el funcionamiento de la pila conectando la carga (pequeña casa con dos bombillas) y esta se ilumina, pero como es una pila o batería la casa se mantiene iluminada solo por un tiempo y esto dependerá como se mencionó anteriormente de la alimentación de combustible. Como residuo de este proceso sale vapor de agua, pero como es en pequeñas cantidades es imperceptible.
- Finalmente la energía que recibe el electrolizador para iniciar su proceso es suministrada por el USB-Data Monitor, pero puede recibirla de los módulos solares y generadores eólicos y mediante el software generar diferentes condiciones como poca luz y mucho viento, mucha luz y poco viento, etc., todas estas simulaciones se pueden apreciar también de manera gráfica y así identificar qué sistema es más apropiado y eficiente.

RECOMENDACIONES

- Las prácticas realizadas en este proyecto requieren conocimientos previos, acerca de temas eléctricos como tensión, corriente, potencia, etc., así como conocer el funcionamiento del equipo para lo cual es indispensable leer el manual, que se encuentra junto con los demás componentes.
- Para las prácticas solares es necesario utilizar la base magnética ya que permite un posicionamiento adecuado, además marcar la posición donde están ubicados los módulos solares para que las medidas sean tomadas desde un mismo punto de referencia.
- Se recomienda mantener la distancia de la lámpara con el módulo a un mínimo de 50 cm para evitar daños en los módulos.
- Para tomar los datos de tensión en el software es necesario esperar que estos se estabilicen ya que al inicio pueden marcar datos elevados que son erróneos.
- Para las prácticas con el generador eólico es importante ajustar bien las aspas al rotor, puesto que pueden desprenderse y perjudicar la integridad de las personas o del equipo. También es recomendable sujetar el generador desde su base, porque con velocidades altas del viento tiende a desplazarse y los resultados variarán. La altura a la que debe estar el generador eólico debe estar alineada al eje del ventilador, así recibirá el viento de forma directa.
- Cuando el generador eólico esté en funcionamiento no debe estar ningún elemento cerca porque si llegara a impactar con las aspas éstas se pueden dañar dado que son de un material delicado. Tener en cuenta las posiciones de las aspas entre cada práctica ya que con velocidades altas de viento el ángulo puede variar.
- Para las prácticas de electrólisis es necesario que después de culminar el experimento se debe limpiar el electrolizador, para que no quede agua en su interior así alargaremos la vida útil del mismo.
- Se recomienda conectar bien las mangueras para que no haya fugas de fluido, esto puede alterar los resultados de la práctica.
- Cuando se utiliza la pila de combustible es necesario dejar pasar libremente el hidrógeno, por un segundo antes de que el proceso inicie.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] MENDEZ MUÑOZ J. “Energía solar fotovoltaica”, Madrid. Fundación Confemetal, 2012
- [2] PERALES B., TOMÁS. “El universo de las energías renovables”, Barcelona. Marcombo, 2012
- [3] SANCHEZ M. “Energía solar fotovoltaica”, México. Limusa, 2011
- [4] SALVADOR PONCE A. “Células solares de silicio: fundamentos y aplicaciones”, Málaga, 2008
- [5] CRISTÓBAL M.ÁLVAREZ, PABLO S. ARRIAZA, “*Fuentes de generación alternativas*”, [en línea] < <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno03/alternativa.htm>
- [6] Energías Renovables y Alternativas, “*Energía eólica*”, [en línea] < <https://enerxia.wordpress.com/energias-renovables-introduccion/energia-eolica-introduccion/>
- [7] JOAQUÍN MUR AMANDA, “*Curso de energía eólica*” [en línea] < <http://www.windygrid.org/manualEolico.pdf>
- [8] *Máquinas eólicas* [línea] < <http://www.grupoblascabrera.org/web/ter/eolic/eolic04.htm>
- [9] RONY QUINTERO R., GABRIEL SIZA., “*Diseño, Simulación y construcción de un prototipo de aerogenerador de eje horizontal*”, Universidad pontificia bolivariana, [en línea] < http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/455/1/digital_17560.pdf
- [10] *Tipos de aerogeneradores*, [en línea] < http://opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html
- [11] JÚAN C. ANTEZANA NUÑEZ, *Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical.*, Universidad de Chile, [en línea] < http://www.centroenergia.cl/literatura/memorias_tesis/AEROGENERADOR-MEMORIA-FINAL.pdf
- [12] “*Diseño de un erogenerador de baja potencia*”, pagina 21 [en línea] < <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/2763/1/40843-1.pdf>

- [13] FERNANDEZ SALGADO J. “*Guía completa de la energía eólica*”. Madrid AMV, 2011
- [14] CARTA GONZALEZ J. “*Centrales de energía renovables 2da edición*” Madrid, Pearson Educación, 2013
- [15] VILLARUBIA LÓPEZ M. “*Ingeniería de la energía eólica*”. México, DF: Alfaomega Grupo Editor; Barcelona: Marcombo, 2013
- [16] ENRÍQUEZ HARPER G. “*El abc de las energía renovables en los sistemas eléctricos*” México, D.F: Limusa, 2012
- [17] MENDEZ MUÑIZ J. “*Energía eólica*” Madrid, Fundación Confemetal, 2012
- [18] Madrid, “*Energías renovables fundamentos, tecnologías y aplicaciones: solar, eólica, biomasa, geotérmica, hidráulica, pilas de combustible, cogeneración y fusión nuclear.*” Madrid: AMV Ediciones Mundiprensa, 2009.
- [19] A. Vian, “*Introducción a la Química Industrial*”. Barcelona; Editorial Reverté, 2006
- [20] SERRANO E. “*Circuitos electrotécnicos básicos*”. Madrid, EDITEX, 2008
- [21] JC. Ruiz, “*Pilas de Combustible*”. España, Real Sociedad 2006
- [22] E. Llera, I. Zabalza. *Hidrógeno: producción, almacenamiento y usos energéticos. España-Zaragoza. 2011*
- [23] LLERA SASTRESA E. “*Hidrógeno: producción almacenamiento y usos energéticos*” Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, 2011
- [24] ESTEIRE E. “*Energías renovables: manual técnico*” Madrid: AMV, 2010
- [25] ELÍAS X. JURADO L. “*El hidrógeno y las pilas de combustible*” Madrid, Ediciones Días de Santos, 2012
- [26] ALBERT CAMPI “*Renewable energy for rural farmers*” 2012 [en línea] <
<https://albertcampi.wordpress.com/2012/02/27/como-ahorrar-baterias-7-hidrogeno-y-pilas-de-combustible/>