



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE BATERÍAS ZINC-
AIRE A UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE REPARTO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO
(ÁREA: ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA)**

PRESENTA: ALFREDO CRUZ SORIANO

ASESORA: M. EN I. MARÍA DE LOURDES MARÍN EMILIO



San Juan de Aragón Estado De México, 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	3
• Implementación de un banco de baterías Zinc-Aire en un Vehículo eléctrico	8
• Objetivos	9
CAPÍTULO 1	
ANTECEDENTES	
1.1 Baterías	11
1.1.1 Tipos de Baterías	12
1.1.1.1 Baterías no recargables	12
1.1.1.2 Baterías recargables ó acumuladores	12
1.2 Vehículos eléctricos y Baterías	12
1.2.1 Baterías plomo-ácido	13
1.2.2 Baterías Níquel-Cadmio (Ni-Cd)	14
1.2.3 Baterías Níquel-Hidruro (Ni-H)	15
1.2.4 Baterías Litio-Ion	15
1.2.5 Tabla de comparación de los cuatro tipos de baterías mas utilizados en vehículos eléctricos	16
1.3 Baterías de Zinc-Aire	16
1.3.1 Principio de operación	16
1.3.2 Clasificación de las baterías Zinc-Aire	17
1.3.2.1 Recarga Mecánica	18
1.3.2.2 Recarga Hidráulica	18
1.3.2.3 Recarga Eléctrica	19
1.4 Vehículos eléctricos y baterías de Zinc-Aire en el mundo	21
CAPÍTULO 2	
DESARROLLO DEL PROTOTIPO	
METODOLOGÍA	23
2.1 Adecuación del vehículo	24
2.1.1 Diseño de las canastillas de las baterías y los porta baterías	24
2.1.2 Requerimientos del flujo de aire	25
2.2 Estudio Eléctrico	26
2.2.1 Banco de baterías plomo-ácido	26
2.2.2 Ensamble del banco de baterías de Zinc-Aire	27
2.2.3 Conexiones posibles para el banco global	29
2.2.4 Baterías Zinc-Aire vs. Baterías Plomo-ácido	32
2.2.5 Controladores	33
2.2.6 Motor eléctrico	34

	Pág.
CAPÍTULO 3	
INSTRUMENTACIÓN DEL BANCO DE BATERÍAS ZINC-AIRE	
3.1 Medición de Voltaje	36
3.2 Medición de temperatura utilizando un diodo 1N4148 como sensor de temperatura	38
3.2.1 Gráficas del comportamiento del punto de operación de cada diodo con respecto a la variación de temperatura	40
3.3 Medición de corriente	45
3.4 Tarjeta de adquisición de datos	46
3.4.1 Programa en LabView	47
PRUEBAS, RESULTADOS Y CONCLUSIONES	
Pruebas y Resultados	50
Conclusiones	52
Trabajos futuros	54
Bibliografía	55
ANEXOS	56

INTRODUCCIÓN:

Bajo la visión de que el desarrollo de nuevas tecnologías permite el avance independiente de un país, en el Instituto de Ingeniería de la UNAM se desarrollan desde 1993 proyectos relacionados con automóviles eléctricos, tanto en el diseño y construcción, así como dando asesoría técnica a fabricantes del ramo.

El propósito de estos proyectos es crear vehículos eléctricos que tengan buena autonomía¹, que cumplan con características necesarias para poder transitar en la Zona Metropolitana del Valle de México y que además ayuden a disminuir el impacto ambiental de contaminantes atmosféricos, generados por los vehículos propulsados por motores de combustión interna.

El primer proyecto de este tipo fue el desarrollo de un minibús eléctrico de baterías conocido ahora como el “Vehículo Eléctrico UNAM” que se muestra en la Fig.I.1.



Fig.I.1 Vehículo Eléctrico UNAM.

¹ En vehículos eléctricos, el término “autonomía” se utiliza para determinar la distancia que uno de estos vehículos recorre con una carga de baterías.

Este proyecto fue seguido de un convenio con el Gobierno del Distrito Federal para el diseño y construcción del “Electrobús” Fig.I.2 un vehículo para transporte público que recientemente fue puesto en operación y fue evaluado por el Servicio de Transportes Eléctricos del D.F.



Fig.I.2 Electrobús UNAM

Dos proyectos más, enmarcados dentro del Programa de Desarrollo de Vehículos Eléctricos, se refieren a vehículos ligeros de carga: el “Electrovira” Fig.I.3, caracterizado por su gran maniobrabilidad.

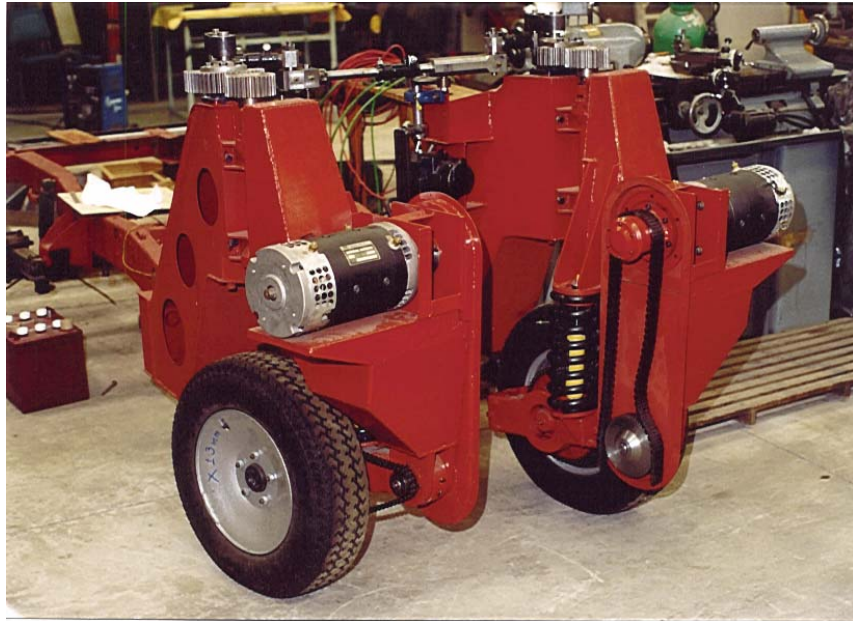


Fig.I.3 Electrovira

Y el Vehículo Eléctrico de Reparto (VER) Fig.I.4 Estos proyectos se realizan respectivamente en el Instituto de Ingeniería y el Centro de Diseño Mecánico de la Facultad de Ingeniería.



Fig. I.4 Vehículo Eléctrico de Reparto (VER)

Se ha contado también con la colaboración del Centro de Investigaciones en Diseño Industrial de la Facultad de Arquitectura, del Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CECADET) y la Facultad de Química.

Otros desarrollos

Como consecuencia del desarrollo de los vehículos eléctricos en el Instituto de Ingeniería, se ha tenido la necesidad de hacer otros desarrollos como son:

Cargador inteligente para grandes paquetes de baterías

Controlador electrónico dual

Estudio del desempeño dinámico de baterías de plomo-ácido

Sistema de monitoreo

Búsqueda de nuevas alternativas de baterías

El cargador inteligente para grandes paquetes de baterías, en particular para el Vehículo Eléctrico UNAM y el Electrobús, se tuvo que desarrollar ya que no fue posible encontrar un cargador con las características que requieren los bancos de baterías de estos vehículos. Este cargador está diseñado para suministrar hasta 40 Amperes de carga a un banco de baterías hasta de 200 Vdc y requiere de una alimentación trifásica en 220 Vac. Actualmente está en operación con control manual y se está trabajando en el desarrollo de la etapa de control automático con una computadora personal en la que se podrá programar el perfil de carga que el fabricante recomienda.

El controlador electrónico dual está en desarrollo y está diseñado para controlar los dos motores de tracción del vehículo eléctrico de reparto (VER). Este controlador deberá tener la capacidad de controlar en forma independiente a cada motor a través de algoritmos de control que permitan la operación de los dos motores como diferencial eléctrico en sustitución de un diferencial mecánico.

Para poder hacer el estudio del desempeño de los vehículos eléctricos y en particular el estudio dinámico de baterías de plomo-ácido se realizó la conversión a tracción eléctrica de un vehículo Volkswagen Sedán. Este estudio fue necesario realizarlo ya que para una batería de este tipo, sometida a una aplicación dinámica, como lo es un vehículo eléctrico, no ha sido sencillo obtener una metodología para conocer el estado de carga en todo momento, lo cual es de suma importancia para tener una idea de la distancia que se puede recorrer. Para este estudio se tuvieron que diseñar sensores con amplificadores aislados ópticamente para poder introducir la información de manera segura en la computadora a través de una tarjeta de conversión analógica-digital, también conocida como tarjeta de adquisición de datos. En la Fig.1.5 se presentan los sistemas de acondicionadores de señal (amplificadores aislados) colocados en el “Volts Wagen”.

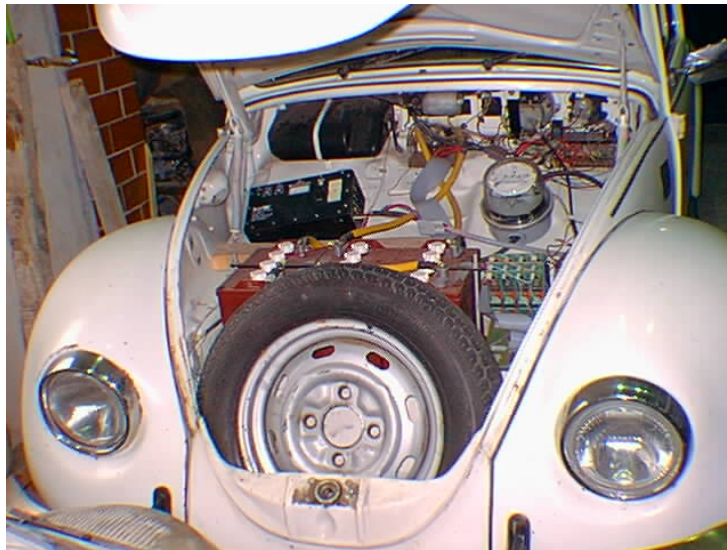


Fig.1.5 “Volts Wagen” con sistema de monitoreo instalado

Otra actividad muy importante en la que el Instituto de Ingeniería está trabajando es en la búsqueda de nuevas alternativas en baterías, ya que el mayor problema que tiene un vehículo eléctrico es su almacén de energía (baterías) que actualmente son muy pesadas y almacenan poca energía, lo que limita el uso de estos vehículos a aplicaciones cuya necesidad de transporte no vaya más allá de 60 a 80 Km. de recorrido.

Por lo anterior, se creó el Consorcio Mexicano de Baterías Avanzadas (COMBA)² del cual el Instituto de Ingeniería forma parte y es uno de los fundadores.

Implementación de un banco de baterías Zinc-Aire a un vehículo eléctrico.

El proyecto que se desarrolla en este trabajo de tesis es la implementación de un banco de baterías Zinc-Aire de recarga eléctrica, en sustitución de un banco de baterías de plomo ácido, en un vehículo eléctrico para reparto de mercancía, que es un vehículo de baja velocidad y de recorridos largos, por lo que resulta ideal para probar el desempeño de estas baterías, considerando que una de las principales ventajas de las baterías zinc aire, es su gran capacidad de almacenamiento de energía.

También es importante mencionar que aunque ya existen vehículos que funcionan con este tipo de baterías, ninguno de ellos lo hace con baterías de zinc aire de recarga eléctrica.

² El COMBA es un organismo que fue oficialmente creado a través de la firma de un Memorando de entendimiento en 1998, y fue legalmente consolidado en 1999 como una asociación civil sin fines de lucro. Este organismo también ha sido admitido en el *REGISTRO NACIONAL DE INSTITUCIONES DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO* del CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT).

OBJETIVOS

- Conocer el desempeño de baterías Zinc-Aire de recarga eléctrica en un Vehículo Eléctrico de reparto de mercancía ligera.
- Generar información que sirva para tener una visión más amplia en proyectos futuros, relacionados con baterías zinc-aire.
- Conocer el desempeño general del vehículo eléctrico (autonomía, habilidad en pendiente, aceleración, velocidad máxima) utilizando este tipo de baterías.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 BATERÍAS

Las baterías son dispositivos acumuladores de energía, que transforman la energía química en eléctrica. Una vez cargada, cuando se conecta a un circuito eléctrico, la energía química se transforma en energía eléctrica, revertiendo el proceso químico de carga.

Los principales parámetros que las caracterizan son: su energía específica (cantidad de energía que puede almacenar por unidad de peso), densidad de energía, potencia específica (velocidad a la que puede transformar la energía por unidad de peso), densidad de potencia, capacidad (en Ah) y voltaje.

Como todas las reacciones químicas, las que se producen dentro de una batería son sensibles a la temperatura, acelerándose normalmente cuando esta aumenta, lo que se traduce en un pequeño aumento de tensión.

La vida útil de las baterías está determinada por el número de ciclos de carga y descarga que podrán efectuarse, asegurando un rendimiento energético aceptable.

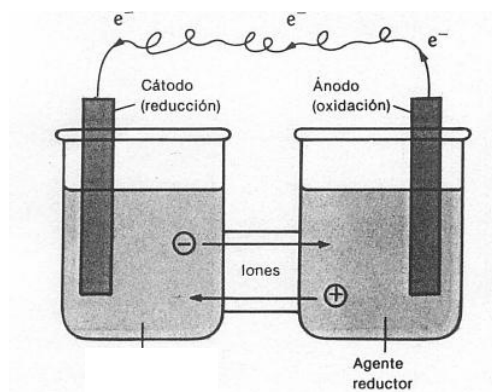


Fig:1.0. diagrama esquemático de una batería (celda galvánica).
Ánodo: Electrodo en donde se verifica la oxidación.
Cátodo: Electrodo en donde se verifica la reducción.

1.1.1 TIPOS DE BATERÍAS

1.1.1.1 Baterías no recargables. son conocidas como PILAS, dado que la reacción química que se produce durante su uso es irreversible. Su vida dura lo que tarde en descargarse, y no son susceptibles de mantenimiento, excepto normas básicas de conservación: evitar temperaturas altas o fríos excesivos, evitar el sol y la humedad, sacarlas de su alojamiento si no van a utilizarse para evitar que una posible corrosión dañe el equipo, etc.

1.1.1.2 Baterías recargables ó acumuladores. las baterías recargables mas utilizadas son del tipo plomo-ácido. Aunque existe una gran diversidad de sistemas cuyo uso es más restringido por su elevado costo, por ejemplo: níquel-cadmio, níquel-zinc, sodio-azufre, hidruro metálico de litio, ion de litio, litio-polímero, etc.

La mayoría de las baterías son similares en su construcción y están compuestas por un determinado número de celdas electroquímicas. El voltaje o tensión de la batería vendrá dada por el número de celdas que posea.

1.2 Vehículos Eléctricos y baterías

Los parámetros que caracterizan a las baterías electroquímicas determinan el desempeño que finalmente tendrá el vehículo eléctrico, de manera que la energía específica (cantidad de energía que puede almacenar por unidad de peso), densidad de energía (cantidad de energía que puede almacenar por unidad de volumen), potencia específica (velocidad a la que puede transformar la energía por unidad por unidad de peso), densidad de potencia, capacidad en Ah y voltaje.

Los vehículos eléctricos son una alternativa viable y comercialmente disponible. Sin embargo, por más de 100 años, su popularización se ha visto impedida por las limitaciones en autonomía y tiempo de recarga que imponen las baterías de plomo ácido.

La mayoría de los vehículos eléctricos en México, incorporan baterías de plomo ácido, esto debido a su bajo costo pero tienen la desventaja de que son muy pesadas.

En este sentido en muchas parte del mundo se mantiene en constante desarrollo una gran cantidad de tipo de baterías dentro de las cuales resaltan para la aplicación en vehículos eléctricos cuatro tipos.

1.2.1 Baterías de plomo ácido

Está constituido por dos electrodos de plomo que, cuando la batería está descargada, se encuentra en forma de sulfato de plomo (PbSO_4) incrustado en una matriz de plomo metálico (Pb); el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico. Este tipo de batería se sigue usando aún en muchas aplicaciones, entre ellas en los automóviles eléctricos, y su funcionamiento es el siguiente:

- Durante el proceso de carga inicial el sulfato de plomo (PbSO_4) es reducido a plomo metal en el polo positivo, mientras que en el ánodo se forma óxido de plomo (Pb O_2). Por lo tanto se trata de un proceso de dismutación. No se libera hidrógeno, ya que la reducción de los protones a hidrógeno elemental está cinéticamente impedida en una superficie de plomo, característica favorable que se refuerza incorporando a los electrodos pequeñas cantidades de plata. El desprendimiento de hidrógeno provocaría la lenta degradación del electrodo, ayudando a que se desmoronasen mecánicamente partes del mismo, alteraciones irreversibles que acortan la duración de la batería.
- Durante la descarga se invierten los procesos de la carga. El óxido de plomo (Pb O_2) es reducido a sulfato de plomo (PbSO_4) mientras que el plomo elemental es oxidado para dar igualmente sulfato de plomo (PbSO_4). Los electrones intercambiados se aprovechan en forma de corriente eléctrica por un circuito externo. Se trata por lo tanto de una conmutación. Los procesos elementales que trascurren son los siguientes:

-
- En la descarga baja la concentración del ácido sulfúrico porque se crea sulfato de plomo y aumenta la cantidad de agua liberada en la reacción. Como el ácido sulfúrico concentrado tiene una densidad superior al ácido sulfúrico diluido, la densidad del ácido puede servir de indicador para el estado de carga del dispositivo.
 - No obstante, este proceso no se puede repetir indefinidamente, porque cuando el sulfato de plomo forma cristales muy grandes, ya no responden bien a los procesos indicados, con lo que se pierde la característica esencial de la reversibilidad. Se dice entonces que la batería se ha *sulfatado* y es necesario sustituirla por otra nueva.

Las ventajas principales de este tipo de baterías son: un buen precio, densidad de potencia suficiente, además de que la última generación de baterías plomo-ácido exigen mantenimiento mínimo. Sin embargo su peso elevado, derivado de su baja energía específica, nos dan por ejemplo, que para el vehículo eléctrico Volts Wagen desarrollado en el instituto de ingeniería, para conseguir una autonomía de 50 Km. con una velocidad máxima de 70 Km/h se necesiten cerca de 400 Kg. de baterías, y su período de recarga puede oscilar entre 8 y 10 horas.

1.2.2 Baterías Níquel-Cadmio (Ni-Cd)

Utilizan un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de un compuesto de cadmio. El electrolito es de hidróxido de potasio. Esta configuración de materiales permite recargar la batería una vez está agotada para su reutilización. Cada celda de NiCd puede proporcionar un voltaje de 1,2 V y una capacidad entre 0,5 y 2,3 Ah. Sin embargo, su densidad de energía oscila tan sólo entre 48

y 80 Wh/kg, lo que hace que tengan que ser recargadas en periodos cortos de tiempo. También se ven afectadas por el efecto memoria³.

1.2.3 Baterías Níquel-Hidruro (Ni-H)

Utilizan un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de metal-hidróxido. Cada celda de NiH puede proporcionar un voltaje de 1,2 V y una capacidad entre 0,8 y 2,3 Ah. Su densidad de energía llega a estar entre 60 y 120 Wh/kg. Este tipo de baterías no se encuentran afectadas por el llamado efecto memoria.

1.2.4 Baterías Litio-Ion (Li-ion)

Las Baterías Litio-Ion (Li-ion) utilizan un ánodo de Litio y un cátodo de Ion. Su desarrollo es más reciente, y permite llegar a densidades del orden de entre 110 y 160 Wh/kg. Además, no sufren el efecto memoria.

³ El **Efecto memoria** es el efecto que reduce la capacidad de las baterías con cargas incompletas. Se produce cuando se carga una batería sin haber sido descargada del todo.

Para prevenirlo no hace falta esperar a descargar la batería cada vez que se van cargar. Solo hace falta que cada pocas cargas una de ellas sea completa.

También en la baterías sin efecto memoria se recomienda una descarga completa y carga completa de vez en cuando.

TABLA DE COMPARACIÓN DE LOS CUATRO TIPOS DE BATERÍAS MÁS UTILIZADOS EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.

Tipo	Energía específica	Voltaje por celda (V)	Ciclos de carga y descarga	Tiempo de recarga
Plomo ácido	30-50 Wh/kg	2 V	200-300	8-16h
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	1500	1h
Ni-H	60-120 Wh/kg	1,25 V	300-500	2h-4h
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,7 V	500-1000	2h-4h

Tabla 1.1 comparativa de baterías

En la Tabla 1.1 se puede apreciar que de los cuatro tipos de baterías más utilizados en vehículos eléctricos, las de plomo ácido son las que tienen menor energía específica, menor tiempo de vida (ciclos de carga y descarga) y son las que tardan mas tiempo en recargarse, sin embargo siguen siendo las más usadas, esto es debido a que su costo es mucho mas bajo que las otras tres.

1.3 BATERÍAS ZINC AIRE

Otras baterías alternativas que empiezan a tomar auge en el desarrollo de vehículos eléctricos, son las de Zinc-Aire, esto es debido a su alta energía específica que va desde los 100 hasta los 500 Wh/kg ⁽²⁾ con un voltaje por celda de alrededor de 1.2 V.

1.3.1 Principio de Operación

El núcleo de la batería Zinc-Aire es un ánodo hecho de Zinc y las membranas bifuncionales de intercambio de oxígeno actúan como los cátodos en ambos

⁽²⁾ Powerzinc, Why choose Zinc-air, <http://www.powerzinc.com/en/te01.asp>

lados del ánodo, en la Fig.1.1 se ilustran las partes que componen este tipo de batería.

Los iones empiezan a fluir entre los electrodos cuando se agrega el electrolito acuoso (solución de hidróxido de potasio KOH). Los electrones se separan del Zinc en el ánodo y se crean iones de Zinc de carga positiva; cuando un dispositivo eléctrico se conecta a la celda, los electrones libres emigran a través de él hacia el cátodo, es decir que una corriente empieza a fluir.

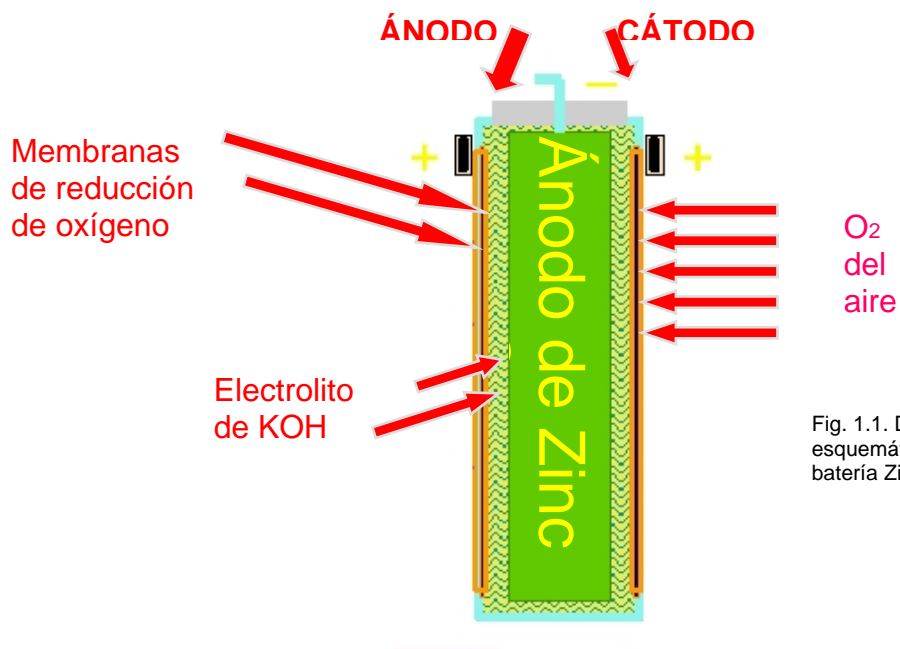


Fig. 1.1. Diagrama esquemático de una batería Zinc Aire.

1.3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS BATERÍAS ZINC AIRE

En la actualidad las baterías de zinc aire se clasifican en base a los tres métodos que se utiliza para su recarga que son:

- Recarga mecánica
- Recarga hidráulica
- Recarga eléctrica

1.3.2.1 Recarga Mecánica

En este tipo de recarga la batería descargada se retira del vehículo y se le extrae el ánodo usado (óxido de zinc ZnO), el cual se reemplaza por uno nuevo (Zn), el la Fig.1.2 se ilustra una batería de este tipo donde se extrae el ánodo de zinc gastado.

El ánodo gastado (ZnO) se envía al equipo de regeneración en el que se recupera el Zinc y el oxígeno es liberado.



Fig.1.2. Batería de zinc aire con sistema de recarga mecánica de la empresa Powerzinc.

1.3.2.2 Recarga Hidráulica

En este tipo de batería el Zn está en forma de “pellets”⁽³⁾ en suspensión con el KOH. Para la recarga se utiliza una bomba hidráulica para retirar el ZnO y recargar el “combustible” nuevo (Zn + KOH), el combustible usado (ZnO) es regenerado en una unidad externa. Este tipo de batería Zinc aire también es considerada una “celda de combustible” debido a que funciona con una sola celda cuyo ánodo esta formado por el conjunto de pellets de zinc.

⁽³⁾ pellets: esferas de zinc de 3 mm de diámetro.

En la Fig.1.3. se ilustra un ejemplo de vehículo eléctrico que funciona con celdas de combustible zinc aire de recarga hidráulica.



Fig.1.3.Vehículo eléctrico de prueba desarrollado por la empresa Metallic Power con sistema de recarga.

1.3.2.3 Recarga Eléctrica

En este tipo de batería Zinc Aire, la recarga se hace inyectando corriente a la batería de forma muy similar a como se hace en las baterías convencionales de plomo ácido. Este proceso es posible ya que la membrana de intercambio de oxígeno está diseñada para permitir el flujo de corriente en ambos sentidos, a diferencia de las de recarga mecánica e hidráulica en la que el flujo es en un solo sentido.

Para la recarga no se necesita infraestructura especial pero es un proceso lento y la energía específica y los ciclos de vida disminuyen. En la Fig.1.4 se muestra

la celda de zinc aire marca Zoxy modelo PZE 80³ que es una celda de recarga eléctrica.

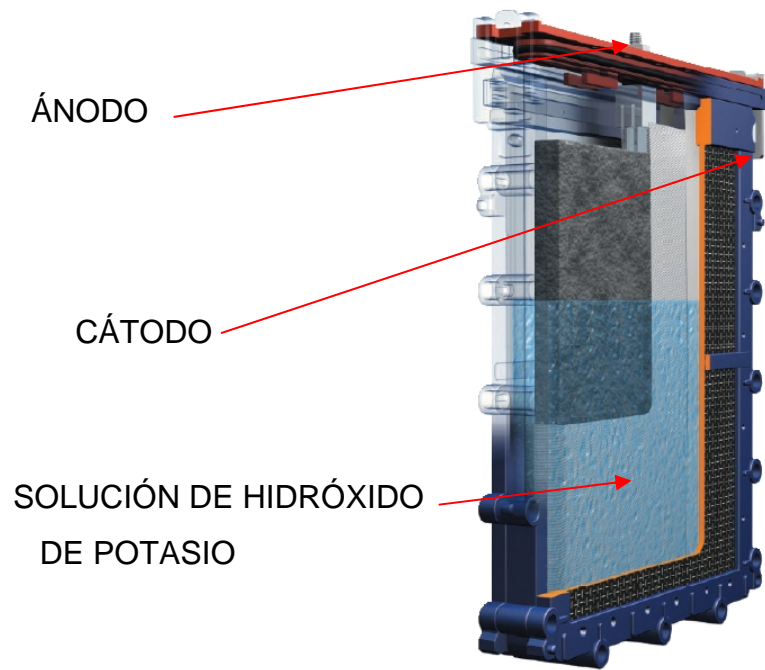


Fig. 1.4. Batería marca ZOXY modelo PZE 80.

³ Los datos técnicos de esta batería se muestran en el anexo

1.4 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS Y BATERÍAS ZINC AIRE EN EL MUNDO

Debido a su alta energía específica las baterías de Zinc-Aire han resultado ser muy atractivas para el desarrollo de vehículos eléctricos alrededor de todo el mundo, prueba de ello son los proyectos que realizan empresas como Powerzinc Electric Inc.⁽⁴⁾ de Norte América, quien ya ha desarrollado varios vehículos que van desde una silla de ruedas hasta un autobús eléctrico que se muestra en la Fig.1.5 el cual ya se prueba en la ciudad de Shanghai en China.



Fig1.5. Autobús eléctrico de la empresa Powerzinc.

Otra empresa que ha desarrollado vehículos es Electric Fuel Ltd. De Israel Que tiene vehículos de prueba en el continente Europeo en países como Alemania, Italia y Suecia, dando servicio a las oficinas de correos⁽⁵⁾.

En estos dos ejemplos de vehículos eléctricos el factor común es que el tipo de recarga de las baterías Zinc-Aire es mecánico.

⁽⁴⁾ **Powerzinc Electric Inc.**, Application, <http://www.powerzinc.com/en/application.asp>

⁽⁵⁾ **Ongoing Tests of the Electric fuel Zinc-Air Battery for Electric Vehicle**, Jonathan R. Goldstein and Binyamin Koretz, <http://www.ieeexplore.ieee.org/iel4/5261/14256/00653830.pdf?tp=&arnumber=653830&isnumber=14256>

CAPÍTULO 2 DESARROLLO DEL PROTOTIPO

2.1 METODOLOGÍA

Para hacer la adaptación del banco de baterías Zinc-Aire a un vehículo eléctrico de carga, se desarrollaron las siguientes actividades:

2.1.1 ADECUACIÓN DEL VEHÍCULO

2.1.1.1 Diseño de las canastillas de las baterías y los porta baterías.

2.1.1.2 Diseño del sistema de alimentación de aire que requieren las celdas.

2.1.2 ESTUDIO ELÉCTRICO

2.1.2.1 Análisis comparativo entre fuentes de energía.

2.1.2.2 Ensamble del banco de baterías de zinc aire.

2.1.3 INSTRUMENTACIÓN DEL BANCO

2.1.3.1 Desarrollo del sistema de medición e instrumentación en el vehículo para monitoreo de variables eléctricas (voltaje, corriente) y temperatura.

2.1.3.2 Desarrollo del programa para adquisición de datos y registro de variables.

2.1.3.3 Pruebas en el vehículo bajo condiciones controladas, para caracterizar el desempeño del nuevo banco de baterías.

2.1.3.4 Pruebas del vehículo en condiciones reales de operación.

2.1.1 ADECUACIÓN DEL VEHÍCULO

2.1.1.1 Diseño de las canastillas de las baterías y los porta baterías

Se realizó la selección de materiales para el contenedor de baterías y el porta baterías se tomó la decisión de utilizar placa de espuma de PVC por su resistencia estructural y a la corrosión por KOH, también se agregó una cubierta de acrílico para permitir la revisión de niveles para cada celda.

Para agrupar las celdas en conjuntos de 12 piezas, se diseñaron canastillas con ranuras de ventilación como se muestra en la Fig.2.1.

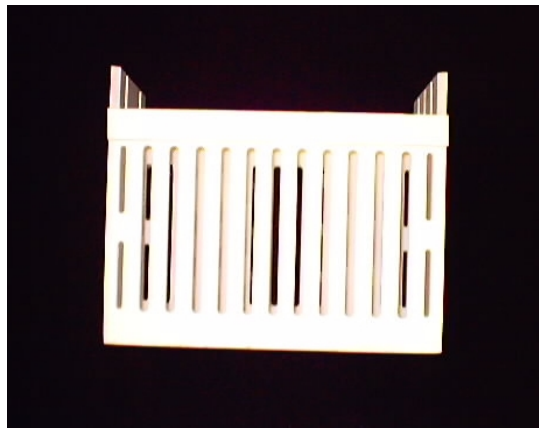


Fig.2.1. Canastilla para batería.

Se diseñaron y construyeron tres porta baterías con capacidad para 16 baterías cada uno. Como se muestra en la Fig.2.2.

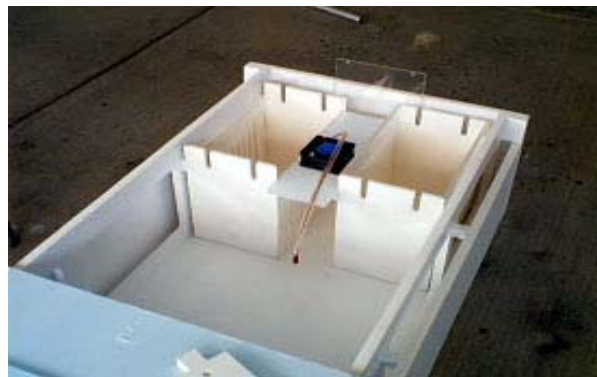


Fig.2.2. Porta baterías con capacidad de 8 baterías por lado.

2.1.2 Requerimientos de flujo de aire.

Los requerimientos de flujo de aire los proporcionó Zoxy energy que era el fabricante de las celdas y fueron los siguientes:

El número total de celdas de combustible que se implementaron fue de 576, y para esta cantidad, el dato de flujo de aire limpio requerido era de 6 m³ por hora, con una calidad tal que, partículas con más de 3 micras no pudiesen entrar en contacto con las celdas, además de filtrar metales pesados en el aire como plomo, estaño, cromo, etc.; o agentes corrosivos como azufre u otros elementos en el ambiente de la ciudad de México como el CO y CO₂.

Para satisfacer estos requerimientos, se utilizó un sistema de filtrado formado por 5 filtros de carbón activado para aire acondicionado de 12X12 pulgadas, dispuestos de la siguiente manera: en orden de contacto con el aire ambiental: malla metálica, fibra de vidrio, plisado, carbono activado y fibra de vidrio al final nuevamente. requerimientos y espacio disponible en el vehículo en el cual se colocarían las celdas de combustible.

El arreglo de los 5 filtros tenía una caída de presión que oscilaba entre 0.8 de bar cuando los 5 filtros son nuevos y 1.4 bar cuando ya están en su conjunto saturados y necesitan cambiarse. Cabe señalar que dependiendo del uso y condiciones ambientales de operación, los filtros pueden saturarse a diferente tiempo, además de que el conjunto de 5 filtros es con el objeto de que el de carbón activado, se conserve más tiempo en operación óptima, por lo que los primeros 3 filtros solo cumplen con la labor de eliminar partículas relativamente grandes comparadas con las que puede retirar el filtro de carbón activado.

2.2 ESTUDIO ELÉCTRICO

Considerando que el vehículo que se adaptó, funcionaba en principio con baterías Plomo-Acido, a continuación se desglosan las características del banco de baterías original (Plomo-Acido), y al final de este capítulo se realizará un estudio comparativo con el banco sustituto (Zinc-Aire).

todo esto con el fin de establecer un marco comparativo entre el desempeño del vehículo con sus baterías originales, contra el desempeño del mismo vehículo con las baterías sustitutas.

2.2.1 BANCO DE BATERÍAS PLOMO ÁCIDO

El banco original del vehículo Taylor Dunn estaba formado por 16 baterías de plomo-ácido de la marca Taylor Dunn modelo TD-250 de 6V (3 celdas de 2V) de 250 Ah a 20h cada una, conectadas en serie.

El voltaje de carga máximo es de hasta un 20% arriba del voltaje nominal. Es decir al cargar el banco completo puede llegar hasta 115V.

Para el proceso de descarga, el voltaje mínimo por celda es de 1.7V o hasta 15% abajo del voltaje nominal.

Durante el proceso de descarga el voltaje del banco completo no debe ser menor de 80V.

2.2.2 ENSAMBLE DE LAS BATERÍAS DE ZINC-AIRE

Se formaron baterías con 12 celdas de zinc aire cada una, como se muestra en la Fig.2.3.

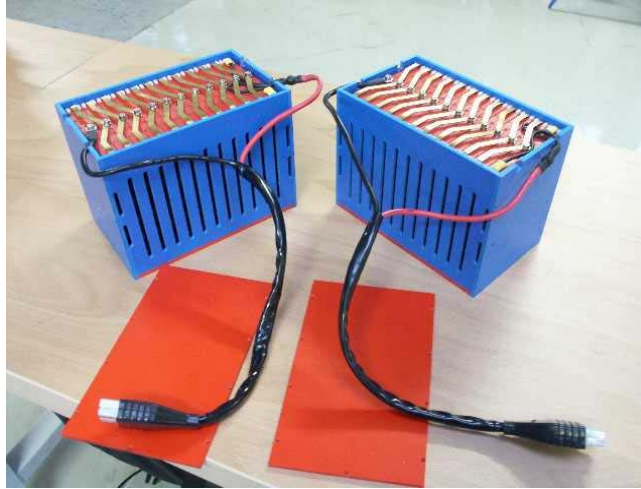


Fig. 2.3. Arreglos de 12 celdas para formar baterías de 12 V.

después se armaron bancos con 8 baterías cada uno, conectadas en serie como se muestra en la Fig.2.4.

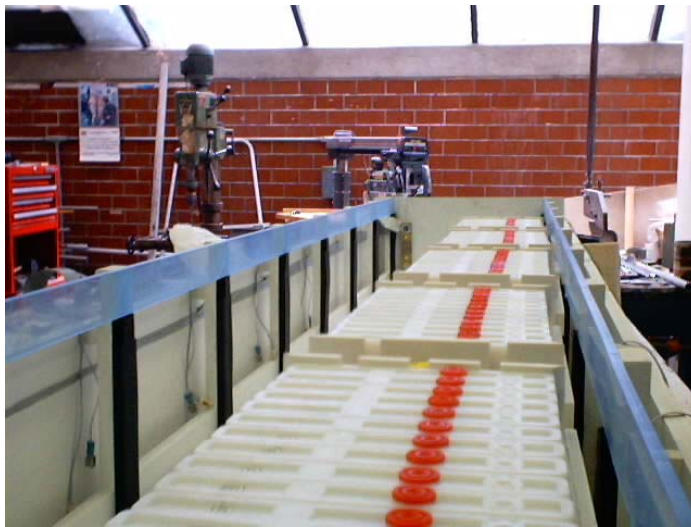


Fig.2.4. Arreglo de 8 baterías conectadas en serie.

Finalmente estos bancos que en total fueron 6 se repartieron en 3 porta baterías quedando 2 bancos por porta batería como se muestra en Fig.2.5.



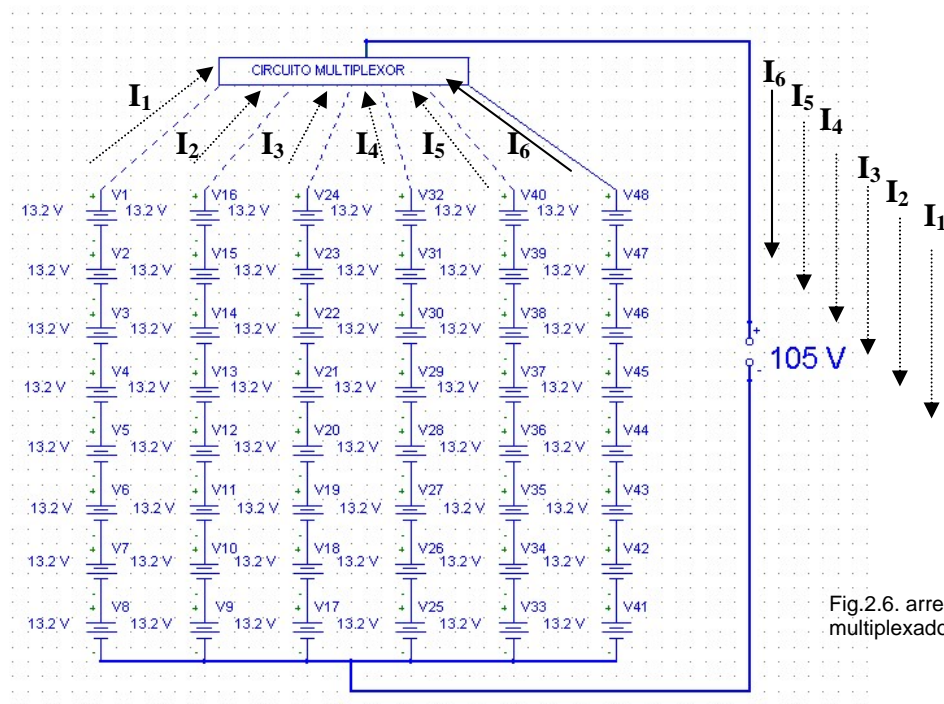
Fig.2.5. Porta baterías con 2 bancos de 8 baterías cada uno.

NOTA: Es muy importante mencionar que en esta etapa del desarrollo del proyecto aconteció un imprevisto que fue retrasando los tiempos, debido a que las celdas presentaban fugas de hidróxido de potasio por problemas que tuvo la empresa Zoxy con su sistema de ensamblaje, esto obligo a remplazar cerca de 130 celdas, esta cantidad superaba la reserva que teníamos por lo que se tuvo que mandar a traer mas celdas a Zoxy Alemania y aun así durante el primer recorrido se detecto que mas celdas ya habían empezado a fugar.

2.2.3 CONEXIONES POSIBLES PARA EL BANCO GLOBAL

1.- Cambiando arreglos

Esta propuesta consistía en conectar los 6 bancos por su nodo negativo y diseñar un sistema que nos permitiese multiplexar entre los nodos positivos como se muestra en la Fig.2.6.



Esta configuración tiene la desventaja de que la corriente circula por un solo banco lo cual provoca que el rendimiento de las celdas se reduzca.

En la recarga tendríamos que utilizar el mismo circuito multiplexor lo que la haría el proceso muy lento.

Si se quisiera cargar todos los bancos simultáneamente se necesitaría utilizar varios cargadores lo cual sería poco práctico.

Para usar todas las baterías al mismo tiempo se pueden usar dos configuraciones para su conexión:

2.- Conexión de las baterías en serie-paralelo.

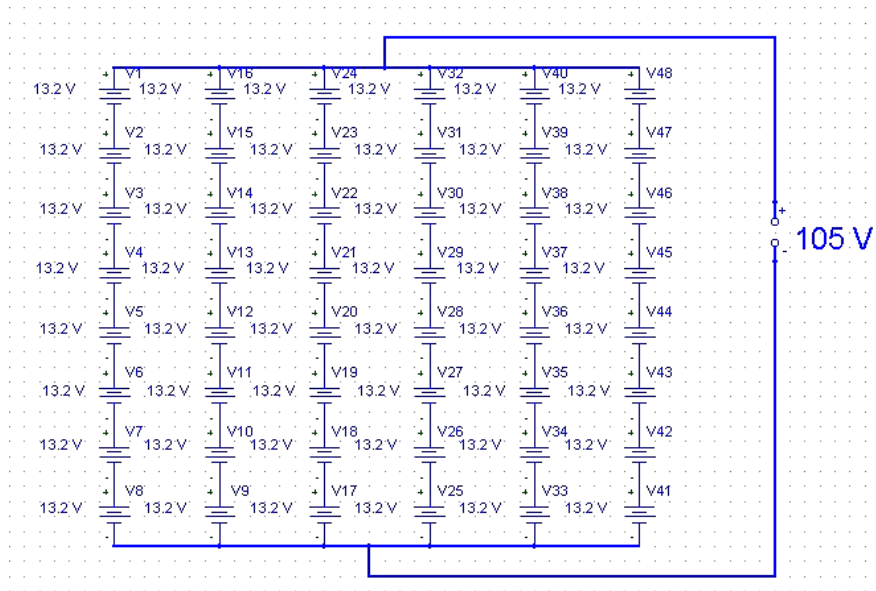


Fig.2.7.Conexión Serie-Paralelo

El arreglo que es comúnmente utilizado en la configuración de bancos de baterías es el mostrado Fig.2.7 serie-paralelo, esto es debido a que el flujo de corriente se distribuye de manera más homogénea entre todas las baterías.

Los 6 banco de baterías conectados en serie se conectaron en paralelo por lo que el banco global quedo armado como se muestra en la Fig.2.9 y sus características eléctricas fueron las siguientes:



Fig. 2.9 Porta baterías colocados en el vehículo.

El voltaje nominal fue de 105.6 V ya que tienen 1.1 V por celda y puede llegar hasta un 20 % arriba, durante el proceso de carga mientras que el de descarga tiene un voltaje mínimo de 0.53 V por celda.

Para el banco completo la carga puede llegar hasta 126.7 V, y en la descarga el límite inferior son aproximadamente 48 V, es importante resaltar que si el banco se descarga a un valor inferior a este puede generar daños en las baterías, por lo que al seleccionar el controlador se debe tomar en cuenta que el voltaje de corte inferior no rebase este límite.

en la tabla 2.1 se muestra las características que se obtienen al conectar las celdas en serie para formar paquetes de 12. y también Las características operativas del banco completo conectado en serie paralelo.

Parámetro	Batería de 12 celdas	Banco completo
Voltaje Nominal [V]	13.2	105.6
Capacidad Nominal [Ah]	80	480
Energía Contenida [kWh]	1	50.6
Energía Específica [Wh/kg]	195	195
Densidad de Energía [Wh/L]	230	230
Potencia Máx. [kW]	0.335	16 (330 A)
Potencia Específica [W/kg]	62	62
Densidad de Potencia [W/L]	74	74
Peso [kg]	5.4	260

Tabla 2.1 Características operativas de baterías zinc-aire

2.2.4 BATERÍAS ZINC-AIRE VS BATERÍAS PLOMO ÁCIDO

En la tabla 2.2 se muestran la comparación de los parámetros que caracterizan a cada banco de baterías basándonos en la información proporcionada por cada fabricante.

Parámetro	Zinc-Aire	Plomo ácido
Voltaje nominal [V]	105.6	96
Capacidad Nominal [Ah]	480	205
Energía Contenida [kWh]	50.6	19.7
Energía Específica [Wh/kg]	195	38
Densidad de Energía [Wh/L]	230	70
Potencia Máx. [kW]	16 (330 A)	77 (800 A)
Potencia Específica [W/kg]	62	150
Densidad de potencia[W/L]	74	270
Peso [kg]	260	512

Tabla 2.2 Comparación de parámetros

En esta tabla se puede apreciar las ventajas y desventajas que poseía cada banco, los parámetros que representan desventajas se han marcado en rojo.

Con esto se puede apreciar que en cuanto a energía contenida, el banco de Zinc-Aire tenía 2.5 veces más capacidad de almacenamiento que las baterías Plomo-Ácido.

En cuanto a energía específica (Wh/Kg) que es la capacidad de almacenamiento de energía en relación con el peso, se puede ver que las baterías Zinc-Aire poseían 5.13 veces más que las baterías Plomo Ácido lo cual en la aplicación de vehículos eléctricos se transforma en mayor autonomía.

Otro parámetro interesante es el de la densidad de energía (Wh/L) este se refiere a la cantidad energía almacenada en relación con el volumen de la batería, que como se puede ver en la tabla 2.2 en el banco de Zinc-Aire fue mucho mayor que en el banco de plomo ácido.

En cuanto a la potencia específica (W/Kg), que en los vehículos eléctricos va relacionada directamente con la aceleración y la velocidad podemos ver que las baterías plomo ácido tienen una notable ventaja sobre las zinc aire, debido a que las primeras pueden suministrar cantidades altas de corriente de manera instantánea, mientras que las segundas no. En la aplicación que a este proyecto concernía, esto, pudo verse como una desventaja, sin embargo, se debe recordar que el vehículo que se desarrolló era un vehículo pequeño diseñado para transportar mercancía ligera y para transitar a baja velocidad, con lo que su mayor ventaja sería su autonomía.

En lo que se refiere a la densidad de potencia (W/L), que es el volumen de la batería en relación con la cantidad de energía que puede entregar, podemos notar que las baterías de plomo ácido son superiores ya que ocupan un menor volumen aunque son mucho más pesadas.

2.2.5 CONTROLADORES

El controlador original del EV-2 era marca Curtis modelo 1221C el cual tenía un voltaje de corte de 72 V mayor al voltaje mínimo del nuevo banco de baterías, por lo que se sustituyó por otro controlador de la marca Curtis modelo 1221B con un voltaje de corte inferior, de 52V, este valor es ligeramente superior al voltaje mínimo de descarga del banco que es de 48V, ya que si se llega a este valor se podrían dañar las baterías. Su voltaje de corte superior es de 130V, mayor al voltaje de carga del banco de baterías Zinc-Aire, con el fin de protegerlo en caso de que el vehículo se pusiera en operación inmediatamente después de cargar el banco. (cosa que no se recomienda ya que se debe de esperar a que el voltaje del banco se estabilice a su valor nominal) en la tabla 2.3 se muestran las características de cada controlador.

Controlador	Voltaje	Corriente	Corriente cte. por 2 min.	Corriente cte. por 5 min.	Corriente Cte. por 1 hora
1221C	72-120V	400A	400A	250A	150 ^a
1221B	52- 130V	550A	550A	375A	225 ^a

Tabla 2.3 rangos de operación de los controladores de la marca Curtis.

2.2.6 MOTOR ELÉCTRICO

El motor del vehículo era de la marca Advanced DC Motors Inc. y tenía las características técnicas que se muestran en la Tabla 2.4

	Características Técnicas
Voltaje	140 VDC
Potencia	5.0 - 20.6HP, 3.75 a 15.5 kW
RPM	1700 a 4800 RPM

Tabla 2.4 características técnicas del motor del vehículo eléctrico

CAPÍTULO 3

INSTRUMENTACIÓN DEL

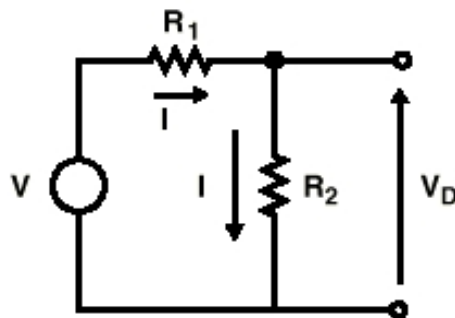
BANCO DE BATERÍAS

ZINC-AIRE

3.1 MEDICIÓN DE VOLTAJE

Para el sistema de monitoreo se requería verificar el voltaje en cada bloque de 12 celdas, registrando la información con la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) de la marca National Instruments modelo AT-MIO-64F-5⁽¹⁾. Para acondicionar el voltaje de cada bloque a las características del rango de entrada, que era de $-1V$ a $1V$ se emplearon divisores de voltaje Fig.3.1.

Para calcular los divisores de cada banco se considero una valor fijo R_2 y se calculó el valor de R_1 con el fin de que el voltaje de salida no excediera el valor de $1V$, considerando la resistencia interna de la DAQ como muy alta, se utilizo una R_2 con un valor de $3.3K\Omega$.



$$V_D = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$$

Fig. 3.1. Circuito divisor de voltaje.

⁽¹⁾ Las características mas relevantes de esta tarjeta se desglosan en la sección TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS de este mismo Capítulo.

La Tabla 3.1. muestra los valores de R1 que resultaron del cálculo de los divisores de voltaje considerando el voltaje máximo al que pueden llegar las baterías durante la carga, los valores resultantes del cálculo R1 se aproximaron a valores comerciales. En la Fig.3.2 se muestra el diagrama esquemático de los divisores de voltaje.

No. Bats	Vin	R1	R2	Vout
	[V]	[KΩ]	[KΩ]	[V]
Rango DAQ -1 a +1				
1	28.8	100	3.3	0.92004
2	57.6	210	3.3	0.89114
3	86.4	330	3.3	0.85545
4	115.2	390	3.3	0.96659
5	144	560	3.3	0.8436
6	172.8	680	3.3	0.83454
7	201.6	680	3.3	0.97363
8	230.4	820	3.3	0.9235

Tabla 3.1 Valores calculados de R1.

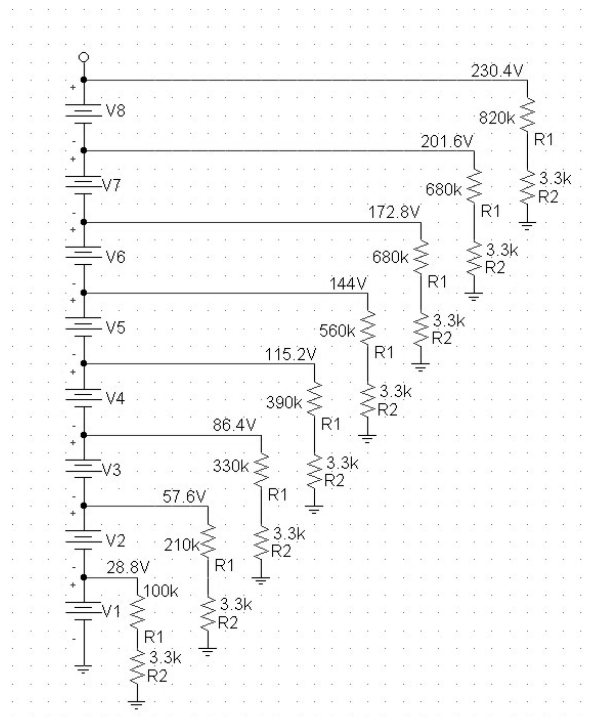


Fig.3.2 Diagrama esquemático de los divisores de voltaje.

3.2 MEDICIÓN DE TEMPERATURA UTILIZANDO UN DIODO 1N4148 COMO SENSOR

Entre los semiconductores comunes se encuentran elementos químicos y compuestos, como el silicio, el germanio, el selenio, el arseniuro de galio, el seleniuro de zinc y el telururo de plomo. El incremento de la conductividad provocado por los cambios de temperatura, la luz o las impurezas se debe al aumento del número de electrones conductores que transportan la corriente eléctrica. En un semiconductor característico o puro como el silicio, los electrones de valencia (o electrones exteriores) de un átomo están emparejados y son compartidos por otros átomos para formar un enlace covalente que mantiene al cristal unido. Estos electrones de valencia no están libres para transportar corriente eléctrica. Para producir electrones de conducción, se utiliza la luz o la temperatura, que excita los electrones de valencia y provoca su liberación de los enlaces, de manera que pueden transmitir la corriente. Las deficiencias o huecos que quedan contribuyen al flujo de la electricidad (se dice que estos huecos transportan carga positiva). Éste es el origen físico del incremento de la conductividad eléctrica de los semiconductores a causa de la temperatura.

Existen en el mercado un gran cantidad de sensores de temperatura sin embargo tratando de simplificar los circuitos, y considerando que los diodos son influenciados en su punto de operación por las variaciones de temperatura a los que pueden ser sometidos, se decidió probar con un componente de este tipo (1N4148) como sensor de temperatura, para lo cual se armó el circuito que se muestra en la Fig.3.3 utilizando un regulador a 5V, y una resistencia de protección en serie con cada diodo.

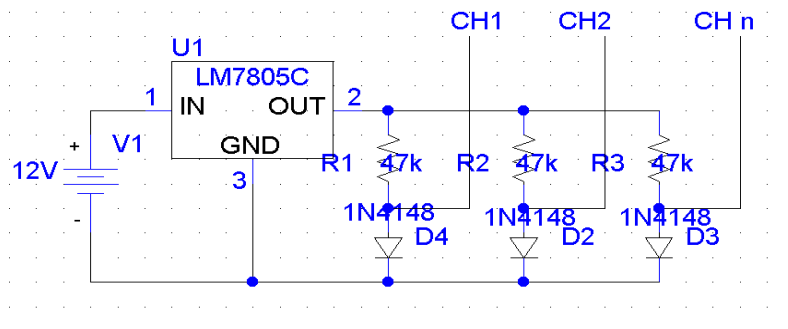


Fig.3.3 Diagrama esquemático del circuito de medición de temperatura.

Para caracterizar estos sensores se sumergieron los diodos en aceite el cual calentamos desde 30° hasta 66° centígrados tomando lectura a cada 3 grados de incremento de temperatura, utilizando para esto, un termómetro de mercurio.

Para investigar si los diodos presentaban algún efecto de histéresis se volvieron a tomar las medias pero ahora dejando enfriar el aceite y tomando lectura a cada 3°C de descenso de temperatura.

Las mediciones hechas se muestran en la tabla 3.1 donde las columnas grises contienen los datos de las lecturas que se hicieron incrementando la temperatura y las columnas blancas muestran las lecturas que se tomaron con la temperatura en decremento.

TEMP °C	▲	▼	▲	▼	▲	▼	▲	▼	▲	▼	▲	▼	PROMEDIO
	D1(mV)	D1(mV)	D2(mV)	D2(mV)	D3(mV)	D3(mV)	D4(mV)	D4(mV)	D5(mV)	D5(mV)	D6(mV)	D6(mV)	
66	0.408	0.414	0.408	0.413	0.410	0.412	0.403	0.405	0.412	0.413	0.411	0.414	0.4092
63	0.418	0.423	0.415	0.418	0.416	0.418	0.408	0.412	0.419	0.424	0.419	0.412	0.4162
60	0.436	0.431	0.420	0.425	0.421	0.425	0.416	0.421	0.424	0.430	0.425	0.428	0.4252
57	0.432	0.438	0.428	0.433	0.425	0.431	0.424	0.428	0.430	0.436	0.430	0.435	0.432
54	0.437	0.443	0.433	0.439	0.430	0.436	0.430	0.435	0.439	0.443	0.435	0.442	0.439
51	0.439	0.454	0.440	0.446	0.435	0.440	0.436	0.441	0.445	0.449	0.441	0.446	0.4446
48	0.445	0.460	0.448	0.453	0.441	0.444	0.445	0.449	0.450	0.455	0.450	0.456	0.4512
45	0.451	0.467	0.453	0.460	0.445	0.450	0.450	0.455	0.455	0.461	0.455	0.461	0.4582
42	0.462	0.472	0.460	0.467	0.453	0.456	0.456	0.461	0.460	0.466	0.460	0.467	0.4644
39	0.475	0.479	0.466	0.472	0.467	0.463	0.459	0.468	0.465	0.470	0.474	0.475	0.4716
36	0.482	0.485	0.473	0.480	0.472	0.479	0.470	0.476	0.470	0.477	0.480	0.486	0.4792
33	0.488	0.491	0.480	0.487	0.479	0.485	0.479	0.484	0.483	0.483	0.485	0.490	0.487
30	0.497	0.497	0.494	0.494	0.491	0.491	0.489	0.489	0.488	0.488	0.495	0.495	0.4918

Tabla 3.1 caracterización de diodos

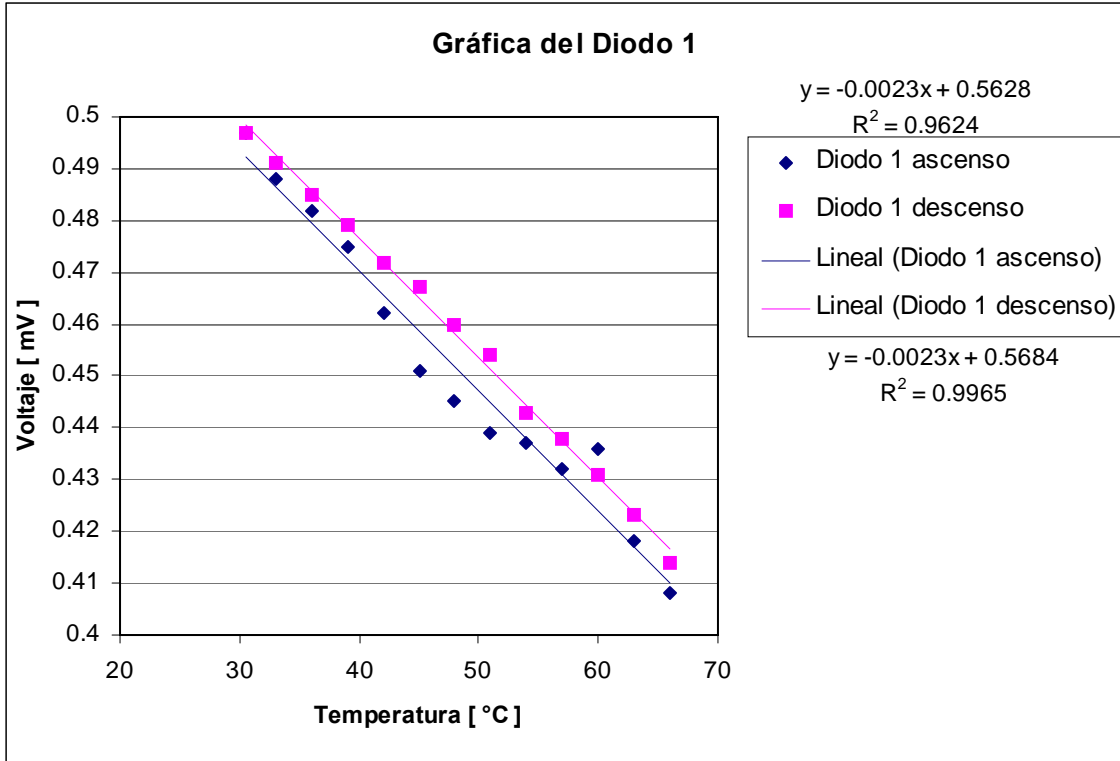
3.2.1 GRÁFICAS DEL COMPORTAMIENTO DEL PUNTO DE OPERACIÓN DE CADA DIODO CON RESPECTO A LA VARIACIÓN DE TEMPERATURA

En las gráficas que a continuación se muestran (de la 3.1 a la 3.6) se puede apreciar que las líneas de tendencia que siguen tanto el incremento como el decremento de temperatura son muy similares, y eso se puede corroborar con sus ecuaciones, sin embargo también podemos observar que la trayectoria que sigue la respuesta del diodo cuando se incrementa la temperatura es diferente a la que sigue cuando la temperatura decrementa, es decir, si existe histéresis.

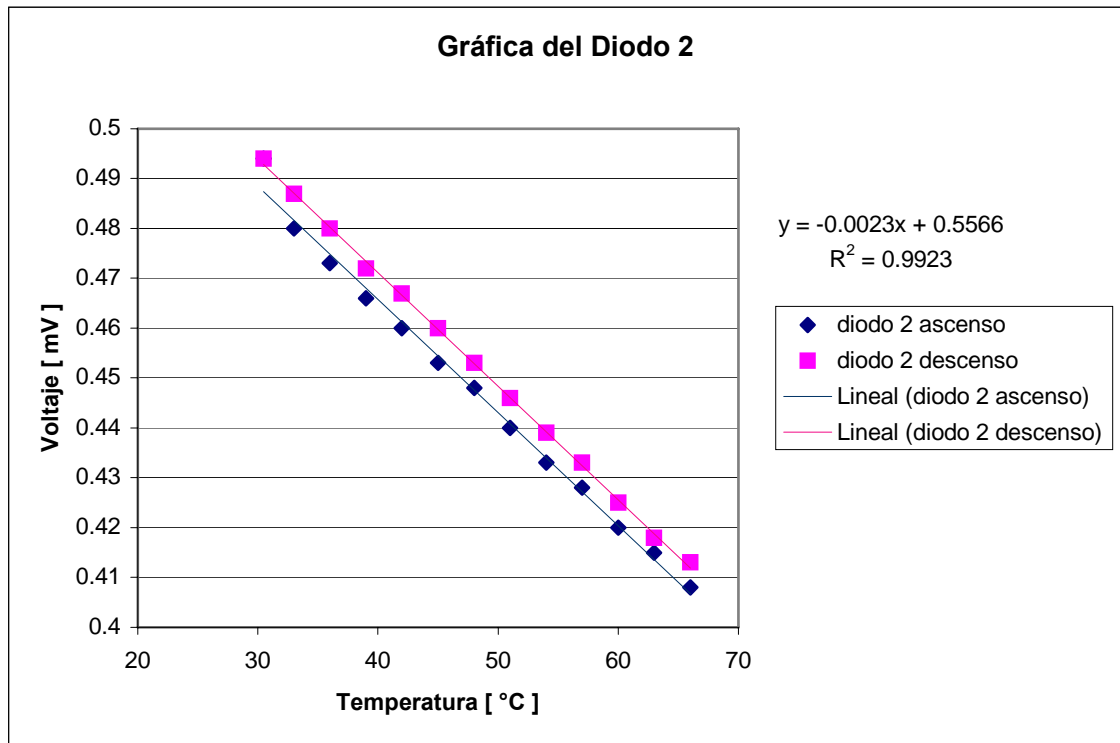
La selección que se hizo de los diodos 1N4140 para ser usados como sensores de temperatura se basó en que no se requería un sensor de mucha precisión si no más bien un sensor que nos permitiera saber cuando las celdas entraban en el rango de temperatura de 33° a 50° C, que es cuando según información de los ingenieros de la empresa Zoxy había riesgo incluso de que las celdas se incendiaran.

En relación de esta situación con el fenómeno de histéresis, se puede decir que no nos afecta mucho, debido a que solo nos interesaba conocer la temperatura en sentido ascendente.

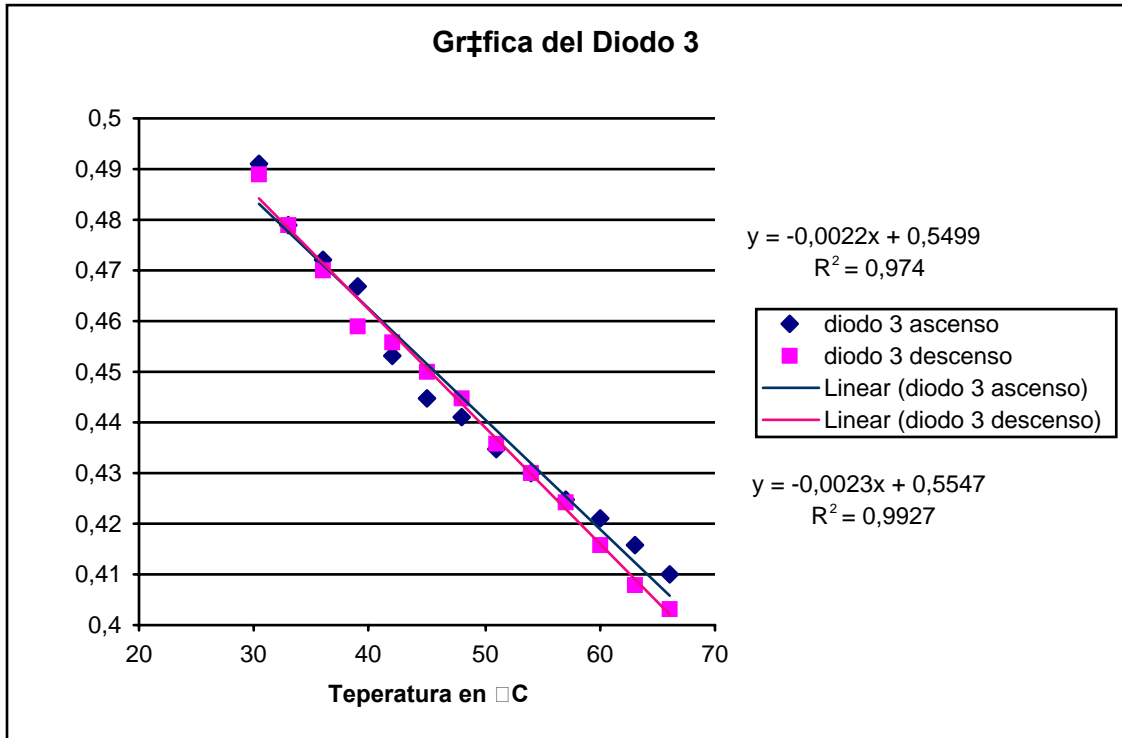
Otro punto interesante que podemos notar en estas gráficas es que los factores de correlación en el caso de el ascenso de temperatura, se aproximan bastante al factor unitario, por lo que consideramos al diodo para el caso del ascenso de temperatura con buena linealidad.



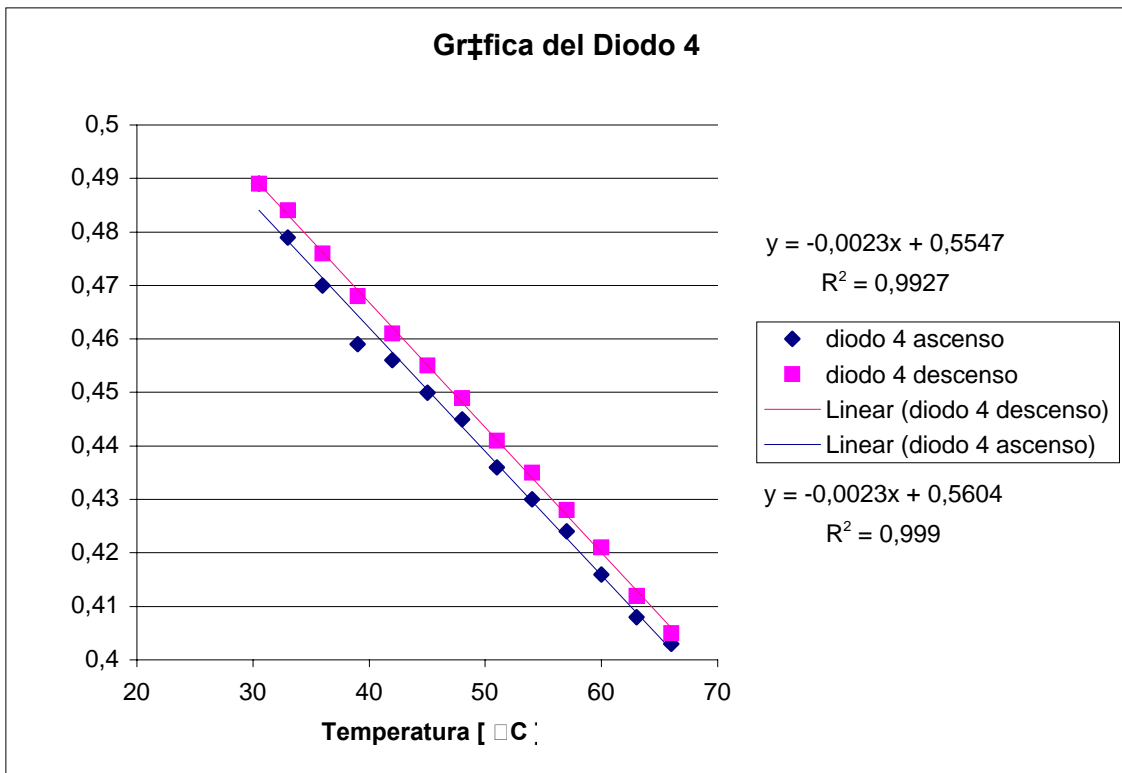
Gráfica 3.1 Gráfica de caracterización del Diodo 1.



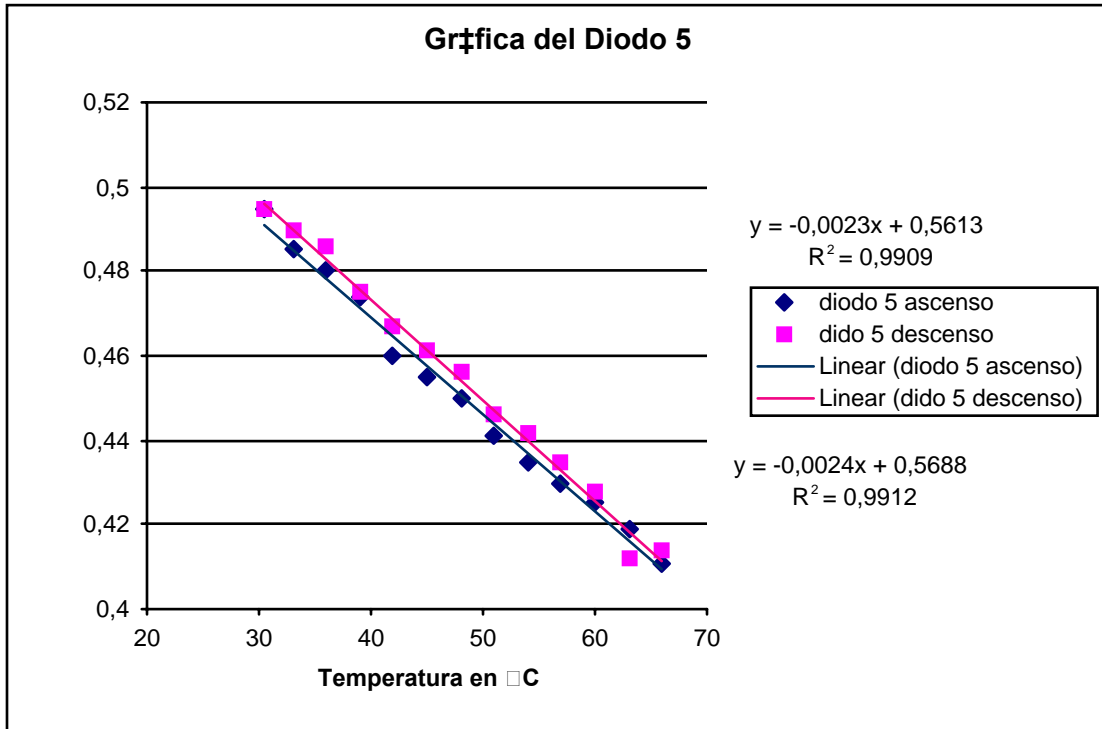
Gráfica 3.2 Gráfica de caracterización del Diodo 2.



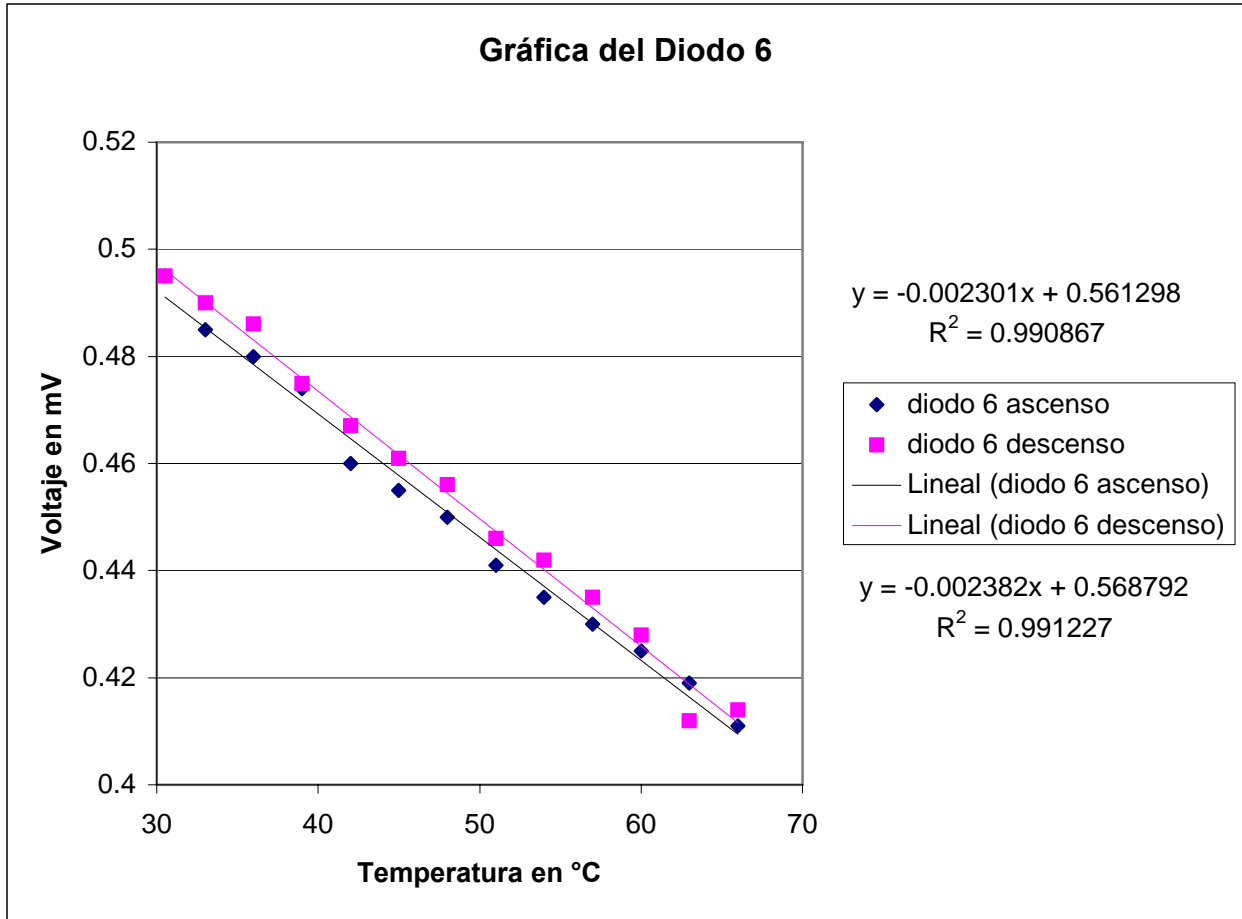
Gráfica 3.3 Gráfica de caracterización del Diodo 3.



Gráfica 3.4 Gráfica de caracterización del Diodo 4.



Gráfica 3.5 Gráfica de caracterización del Diodo 5.



Gráfica 3.6 Gráfica de caracterización del Diodo 6.



Fig.3.4 colocación del diodo 1N4148 en las celdas de zinc aire

3.3 MEDICIÓN DE CORRIENTE

Para monitorear la corriente se usaron 6 resistencias shunt de 50 A @ 50 mV conectando cada una de ellas en serie con cada banco.

Para ingresar la información a la DAQ se propuso el diseño de un circuito con el cual se amplificaría el voltaje, utilizando un amplificador operacional TL072 con un arreglo diferencial como se muestra en la Fig.3.5.

Considerando para efectos de calculo el rango de entrada seleccionado en la DAQ como el de $-1V$ a $1V$, y que si teníamos que la shunt tenia la relación $50A @ 50mV$ tenemos que amplificar este valor 20 veces para estar en el rango de $1V$. Por lo tanto la ganancia diferencial del amplificador sería de $m=20$ y considerando $R_2= 3.3k\Omega$ entonces tendremos una $R_1= 68 K\Omega$.

$$V_{OUT} = 1v$$

$$V_2 = 50mv$$

$$V_1 = 0$$

$$m = 20$$

$$R_2 = 3.3k$$

$$R_1 = mR_2$$

$$R_2 = (20)(3.3k) = 66K\Omega \approx 68K\Omega$$

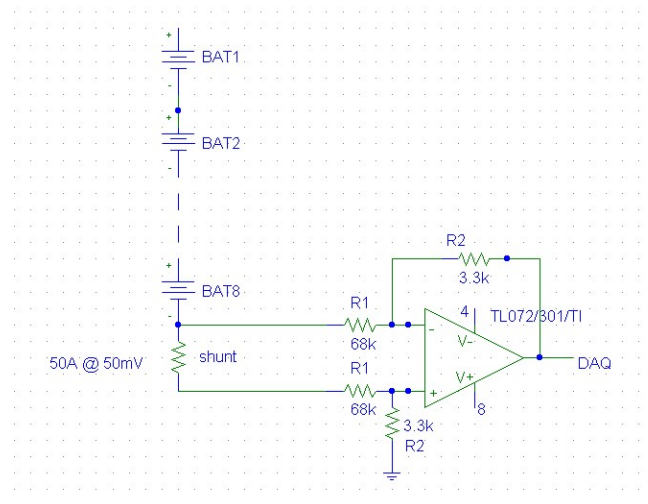


Fig.3.5 Circuito propuesto para amplificar la señal de la shunt.

A esta altura del proyecto el retraso del tiempo generado por las fugas que mencionadas en el capítulo 2 sección 2.2 “Ensamble del banco de baterías Zinc-aire”, no permitió elaborar los circuitos, por lo que se optó por ingresar directa la señal de las shunts y de todos los demás parámetros sin utilizar circuitos de protección a la entrada de la tarjeta de adquisición de datos.

3..4 TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La tarjeta de adquisición de datos que se utilizó en este proyecto fue de la marca National Instruments modelo AT-MIO-64F-5 que es una tarjeta con 64 canales de los cuales se utilizaron 48 para voltaje 6 para corriente y 6 para temperatura. La entrada de la tarjeta se fijó en el rango bipolar de -1V a 1V y esto fue debido a que el sistema de medición de corriente de consumo también se utilizó para medir la corriente de recarga, es decir en la shunt se iba a tener circulación corriente en dos sentidos uno el de carga y otro el de descarga. además de que la señal de las shunts era de 50mV por lo que se seleccionó el rango más bajo.

3.4.1 PROGRAMA

El programa se realizó con el software de National Instruments **Lab View** versión 6i, como se muestra en la Fig.3.6 en una computadora que se instaló a bordo del vehículo para monitorearlo durante los recorridos Fig.3.7

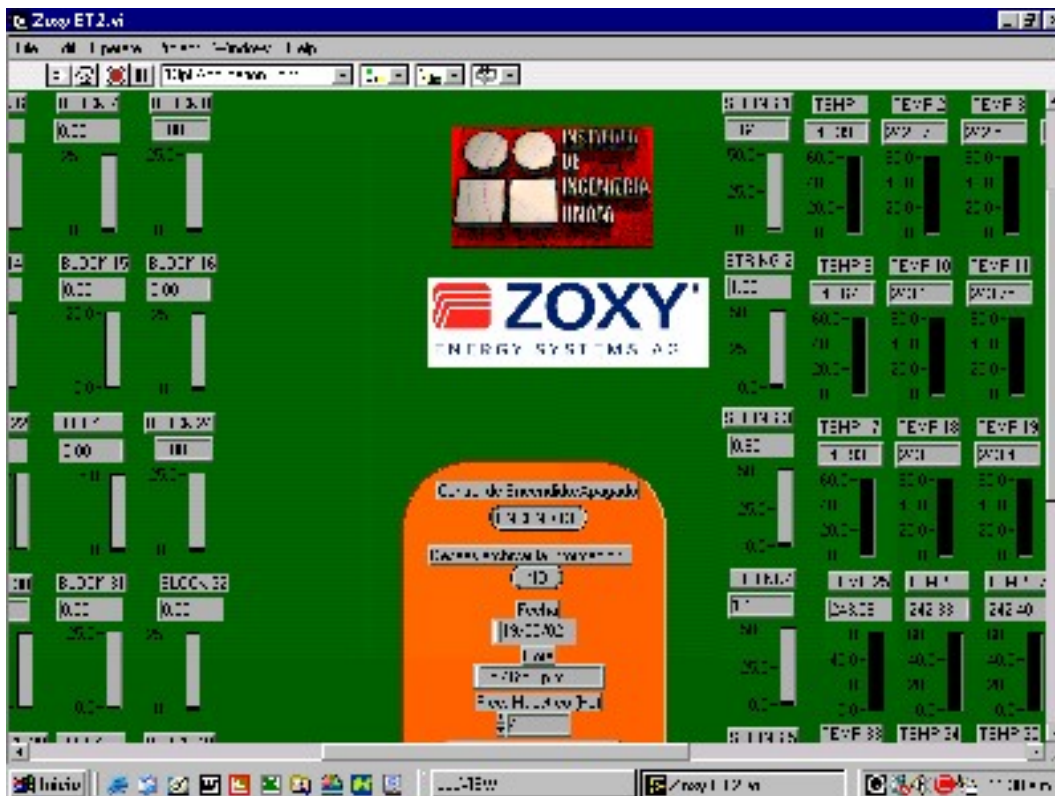


Fig. 3.6 Pantalla principal del programa de monitoreo elaborado en Lab View.



Fig.3.7. Sistema de monitoreo a bordo del vehículo.

PRUEBAS, RESULTADOS Y CONCLUSIONES

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas consistieron en 2 recorridos, de los cuales el primero fue para probar el funcionamiento del vehículo y toda la instrumentación.

Este primer recorrido se realizó en el circuito de Ciudad Universitaria que tiene una longitud de 6.2 Km. Durante este recorrido se ratificó el correcto funcionamiento de todos los sistemas y al mismo tiempo se tomaron las primeras lecturas que se muestran en la tabla 4.1 El vehículo tuvo un consumo de 28.2 Ah. Con un consumo máximo de corriente de 250 A y una caída de voltaje máxima de 48V

Distancia recorrida (Km)	Consumo máximo de corriente (A)	Caída máxima de voltaje (V)	Consumo (Ah)
6.2	230	48	28.2

Tabla 4.1 Lecturas del primer recorrido de prueba

Para el segundo recorrido se trasladó el vehículo para presentarlo en el “Congreso Internacional de Tecnologías Zinc/Aire para Mercados Emergentes”. Se realizó un recorrido por la Av. Reforma a la altura del bosque de Chapultepec y finalmente se hizo el recorrido de regreso a Ciudad Universitaria el recorrido de esta segunda prueba fue de 27.1 Km y las lecturas obtenidas fueron las siguientes:

Distancia recorrida (Km)	Consumo máximo de corriente (A)	Caída máxima de voltaje (V)	Consumo (Ah)
27.1	250	47	151

Tabla 4.2 Lecturas del segundo recorrido de prueba

El total de los recorridos realizados con el primer ciclo de carga de las baterías fue de aproximadamente 33.3 Km. con un consumo de 151 Ah.

Durante los recorridos se pudo observar que la corriente máxima entregada por el banco de baterías de Zinc-Aire fue de 250 A, cayendo el voltaje del banco a 47 V , lo que significa una potencia máxima de 12 kW, es decir, que el banco de baterías tenía poca disponibilidad de potencia. Esto se reflejó en un desempeño pobre del vehículo, el cual tenía poca capacidad de aceleración y habilidad en pendiente, es importante mencionar que para estos recorridos varias baterías presentaban fugas de hidróxido de potasio (KOH) lo cual nos limitaba a exigirle demasiado al vehículo.

Aunque este vehículo estaba pensado para transitar a baja velocidad y para tener una gran autonomía resulta necesario tener un sistema que le proporcione energía adicional para realizar maniobras rápidas o ascender pendientes.

CONCLUSIONES

- En el sistema de suministro de aire, el ventilador que se utilizó estaba diseñado para trabajar con tiro inducido y nosotros lo pusimos a operar como tiro forzado tomando como referencia los filtros, eso reduce su eficiencia y por ubicarlo antes de los filtros, el aire en su mayoría se regresa debido a la gran oposición de los filtros al paso del aire así que hubo que quitar 4 de los 5 sacrificando la calidad del aire.
- Para solucionar este problema se propone probar el ventilador como tiro inducido con respecto al sistema de filtros (succionar el aire en lugar de empujarlo) para observar el comportamiento.
- Las celdas de combustible en su trabajo normal, se calientan así que con el fin de enfriarlas un poco, por convección forzada, se agregaron ventiladores a lo largo de los tres bancos de baterías.
- Este tipo de baterías no puede suministrar corrientes altas de manera instantánea, como se requieren por ejemplo, en maniobras de rebase en el tráfico, para subir una pendiente o la incorporación en un retorno, por lo que seguramente se podría compensar esta deficiencia, con un banco auxiliar de baterías plomo ácido, usando un controlador diseñado para este fin.
- La información obtenida en ésta primera etapa será de gran utilidad en los proyectos subsecuentes.
- Sería necesario modificar la instrumentación que se le hizo al vehículo, ya que las señales se ingresaron a la tarjeta de adquisición de datos de forma directa sin ningún tipo de circuito de protección.

- A pesar que el Zinc representa una fuente de energía limpia y duradera para el futuro, se desconoce aún el impacto ambiental que podría tener al ser usado en una aplicación de uso masivo como lo serian los vehículos eléctricos. Para el caso del uso del zinc en baterías el residuo es óxido de Zinc (ZnO) del cual se recupera el zinc y el oxígeno se desprende.
- Debido a la baja potencia específica que mostraron estas baterías de zinc aire en la aplicación de vehículos eléctricos, se propone una combinación de tecnologías de baterías, una de ellas con buena energía específica como mostraron ser las baterías Zinc-Aire y otra con buena potencia específica como son las baterías de plomo ácido. Esta propuesta se fundamenta en la comparación final que realizamos entre ambos bancos de baterías y cuyo resultado se ilustra a continuación.

Parámetro	ZOXY	Pb/Acido
Energía Específica [Wh/kg]	195	38
Potencia Específica [W/kg]	62	150

Tabla 4.3 Comparación entre los parámetros de energía específica y potencia específica de de las baterías de plomo y Zinc-Aire.

En esta tabla podemos apreciar las diferencias que existen entre los parámetros de energía específica y potencia específica, y a su vez se puede observar que la combinación de ambas tecnologías podría anular las desventajas que cada una presenta.

- Después de la presentación del vehículo en el “Congreso Internacional de Tecnologías Zinc/Aire para Mercados Emergentes” la empresa ZOXY ENERGY SYSTEMS decidió retirarse, con lo cual ya no se realizaron mas pruebas por falta de celdas.

TRABAJOS FUTUROS

Para mejorar el desempeño de este vehículo:

- se le podría anexar un banco auxiliar de baterías plomo ácido que proporcione energía adicional en una función análoga a la sobre marcha en un vehículo de combustión interna de transmisión automática.
-
- se mejoraría la instrumentación con los sistemas de protección adecuados para aislar los circuitos de potencia, con la tarjeta de adquisición de datos.
- Se rediseñaría el sistema de alimentación de aire.
- Se recomendaría realizar algunas pruebas en dinamómetro para caracterizar el banco de baterías en condiciones de operación.

BIBLIOGRAFÍA

- **HANDBOOK OF BATERIES** David Linden, second edition Mc Graw Hill USA 1994
- **DESIGN INNOVATIONS IN ELECTRIC AND HYBRID ELECTRIC VEHICLES** Society of Automotive Engineers (SAE) SP-1089 USA 1995
- **ELECTRIC AND HYBRID VEHICLES – IMPLEMENTATION OF TECHNOLOGY** Society of Automotive Engineers (SAE) SP-1105 USA 1995
- **HANDBOOK ZOXY PZE 80** ZOXY Energy System AG USA 2002
- **FUNDAMENTOS Y APLICACIONES DE LOS CIRCUITOS DE TRANSISTOR** Henry C. Veatch, Publicaciones Marcombo, s.a. Barcelona 1981

ANEXOS

ANEXO 1

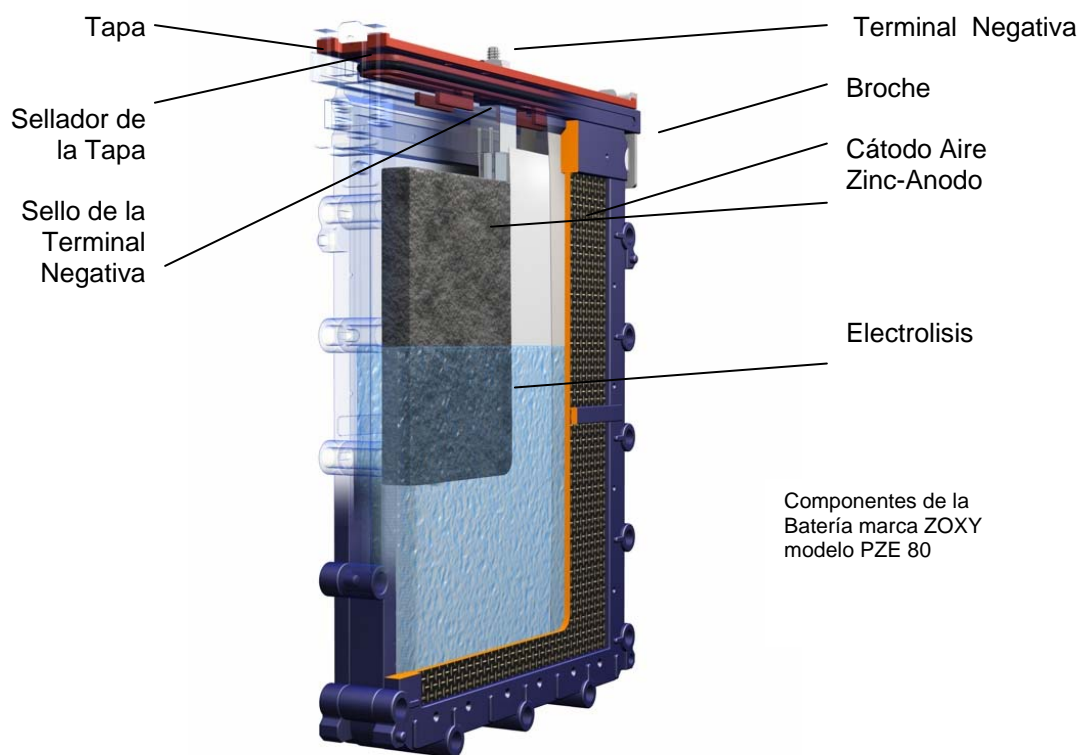
CELDAS DE COMBUSTIBLE ZOXY PZE 80

DATOS TÉCNICOS DEL FABRICANTE

1. Celda de combustible con tanque

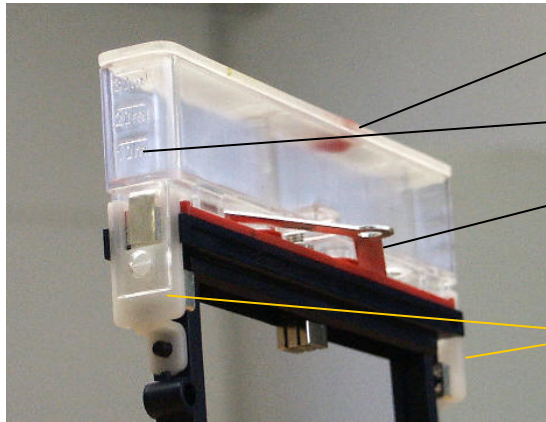
1.1 Construcción

1.1.1 Descripción de la celda de combustible



1.1.2 Descripción del Tanque

Componentes en la parte superior de la Batería Marca ZOXY modelo PZE 80



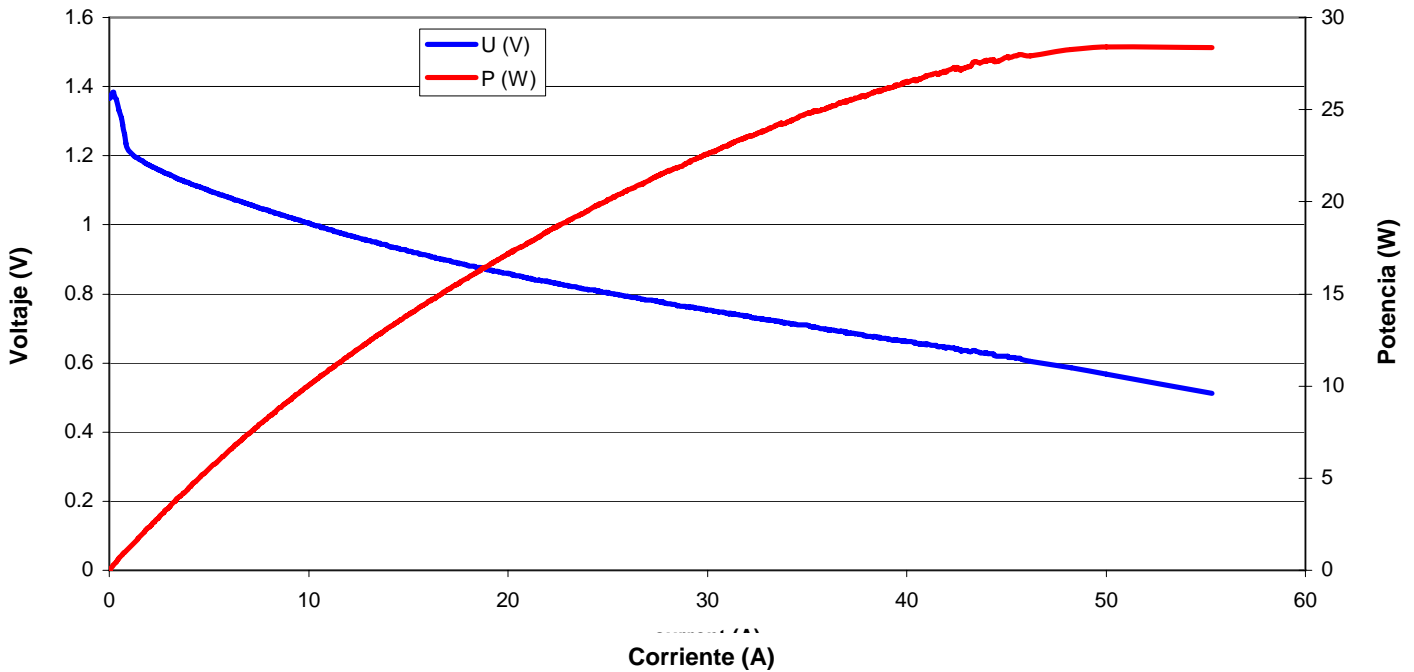
Tapa del Depósito

Indicador del Nivel

Conector / Eléctrico para la Terminal Positiva
Terminal para la terminal negativa de la siguiente celda.

Broche de Sujeción

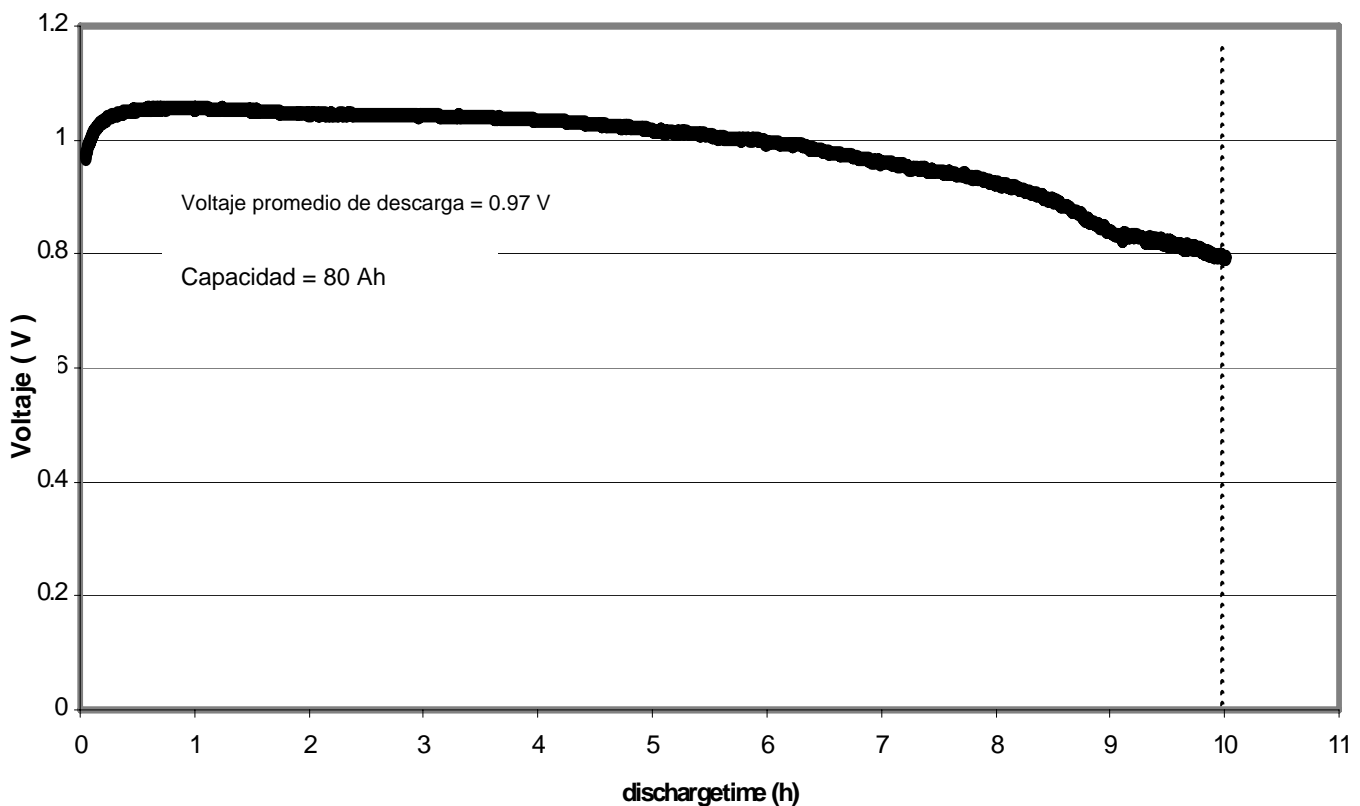
CELDA PzE80
Curva de potencia máxima



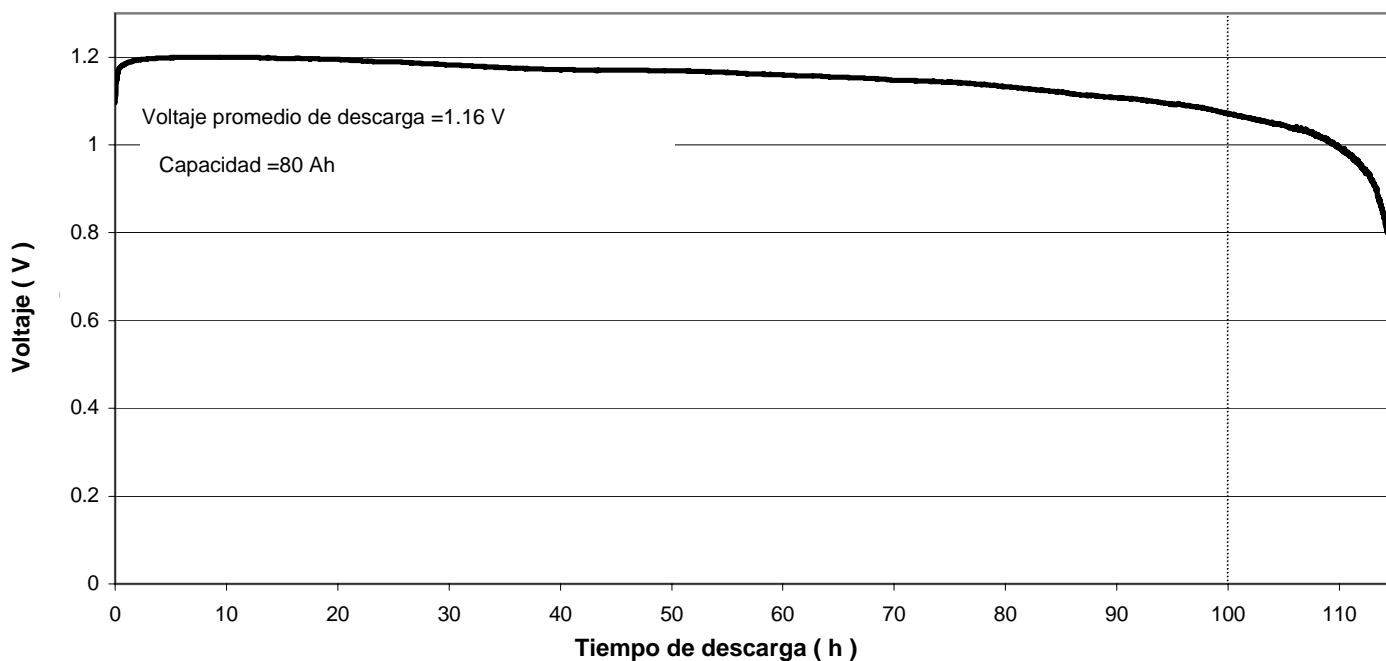
1.2 Datos Técnicos

Voltaje Nominal	1,1 V
Capacidad Nominal	80 Ah
Energía Contenida	88 Wh
Energía específica	195 Wh/kg
Densidad de Energía	230 Wh/L
Pot. Máx. (@55A)	28 W
Potencia específica	62 W/kg
Densidad de Potencia	74 W/L
Peso	0.45 Kg

**Celda PzE 80 con capacidad nominal de 80 Ah descargada
a una corriente constante de 8 A.**



**Celda PzE 80 con capacidad nominal de 80 Ah descargada
a una corriente constante de 0.8 A.**



Activación una celda de combustible PzE 80 con tanque para electrólisis

1.3.1 Producción de s **Tiempo de descarga (h)** **KOH)**

Químicos necesario:

Pellets de Potasio Hidróxido (56,11g/mol)

Agua Destilada

Para producir 0.12 litros de solución de KOH (6 MOL):

1. Pesar 47,5 g de pellets de KOH.
2. Vertir 70 ml de agua destilada en un recipiente.
3. Revolver un poco de agua con los pellets de KOH.
4. Cuando todos pellets estén disueltos, se vierte el resto del agua para obtener 120 ml.

Instrucciones de Seguridad

Use equipo y recipientes resistentes al KOH

Utilice protección en los ojos y guantes para evitar heridas

No respirar los vapores y trabajar en un lugar ventilado.

Siga las instrucciones específicas para accidentes con este tipo de químicos

En caso de heridas:

Remover toda la ropa con KOH.

Lavar la piel con agua abundante.

En todo caso se debe atender por un Medico

Ensamble de la Celda de Combustible

- Quite los seguros del tanque
- Quite el tanque
- Ponga el conector / para la terminal positiva.
- Colocar la conexión eléctrica para el Ánodo.
- Insertar los sellos O-Rings en la cavidad donde entra el tanque.
- Click – on the Electrolysis tank into fixing position.

Llenar las celdas de combustible.

- Remover el tapón rojo en la parte superior del tanque
- Llenar de KOH el deposito
- Inyectar la solución de KOH lentamente dentro del tanque antes de que la celda este completamente llena a 110 – 120 ml. Nota: Este nivel de llenado se debe mantener durante todo el tiempo de operación.
- Coloque le tapón en su lugar para sellar.
- Espere al menos 30 minutos antes de operar la celda