

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

Facultad de Química

**EL ACUMULADOR DE ZINC**

128

**TESIS PROFESIONAL**

para obtener el título de

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a

ENRIQUE GIL FLORES

México, D. F.

1974



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.

TEST

SHA 1974

DC  
M-E 120 121 126



QUIMICA

A mis maestros, Prof. Enrique Villarreal  
Domínguez y la Profa. Silvia Bello de --  
Villarreal, por la valiosa ayuda que me  
brindaron, sin la cual no hubiera sido -  
posible este trabajo.

A mi maestro Antonio Reyes Chumacero

A mis adorados Padres con todo mi cariño

Sr. Rafael Gil V.

Sra. Celia Flores de Gil

Que con su sacrificio y su apoyo moral  
he logrado esta meta.

A mis hermanos:

Laura, Ester, Leticia, Elsa, Rafael ---

Gilberto, Silvia, Reyna Angelica, -----

Belinda, / Alejandro

A mi novia la Srita. Susana Rivera H.

	Presidente Prof.	ENRIQUE VILLARREAL D.
	Vocal Prof.	ANTONIO REYES CH.
Jurado Asignado	Secretario Prof.	SILVIA BELLO DE V.
	1er. Suplente Prof.	ESPERANZA SHROEDER G.
	2o. Suplente Prof.	CARLOS CASTAÑEDA E.

FACULTAD DE QUIMICA

Sustentante:

Enrique Gil Flores

Asesor del tema:

I.Q. ENRIQUE VILLARREAL DOMINGUEZ

## CONTENIDO

INTRODUCCION

GENERALIDADES

FUNCIONAMIENTO Y DESCRIPCION DEL ACUMULADOR

Zn-Sulfatos-PbO<sub>2</sub>

- a) Carga de la celda
- b) Descarga de la celda
- c) Acumulador plomo ácido
- d) Carga de la celda
- e) Descarga de la celda

PARTE EXPERIMENTAL

- a) Experiencias de galvanizado en las placas de alu  
minio

DATOS EXPERIMENTALES

- a) Sistema Zn amalgamado-PbO<sub>2</sub>.Carga y Descarga

DATOS EXPERIMENTALES DEL ACUMULADOR Zn-Sulfatos-PbO<sub>2</sub>

EFICIENCIA TERMODINAMICA

CONCLUSIONES

## INTRODUCCION

Al llevar a cabo una investigación en cualquier rama de la ciencia, se busca algo nuevo o bien se trata de mejorar lo conocido. Por lo que a este trabajo se refiere se trata de mejorar lo que actualmente se conoce con el nombre de Acumulador Plomo-Ácido.

\* Para encontrar un acumulador o pila con diferentes caracteres a los actuales se llevó a efecto una serie de experimentos, que culminó con la consecución del objetivo deseado en principio, esto es, un acumulador que en vez de utilizar plomo esponjoso utiliza placas de aluminio con zinc depositado, utilizando únicamente el  $PbO_2$  de la pila plomo-ácido. en el cátodo. \*

\* Sin embargo, lo más importante de la pila es conseguir que sea reversible, es decir, que trabaje como pila secundaria y que produzca cuando menos -- 2.0 volts por celda. Una vez que se alcanzan estas características y se observa que trabaja aceptablemente, se puede decir que podrá ser utilizado a escala industrial] un acumulador con diferentes caracteres que llevará el nombre de "El Acumulador de Zinc".

## GENERALIDADES

El acumulador bióxido de plomo-zinc fue estudiado hace más de un siglo, desde 1843 para mayor exactitud. Pero no fue útil ya que en él se encontraron varios problemas que impidieron que fuera funcional. Algunos de los defectos que se le observaron fueron los siguientes: tiempo de vida muy breve y desprendimiento de gas hidrógeno.

En tiempo de la segunda guerra mundial y después de ésta (1941-1949) hubo una intensa investigación de esta celda con fines militares, pero se hacía funcionar sólomente como pila primaria. La celda utilizaba como electrolito ácido sulfúrico, pero a causa de que el zinc reaccionó violentamente con el ácido, se hizo necesario introducirlo en el momento de usar la celda una vez que terminaba la experiencia el electrolito se volvió a sacar y así las placas quedaban en estado seco. De aquí se deduce que este sistema era primario y no secundario -- esto quiere decir, que la celda no podía ser cargada y descargada de manera reversible como sucede con el acumulador  $\text{Pb-H}_2\text{SO}_4\text{-PbO}_2$ .

\* El polo negativo era de zinc y para cuidar esta placa del ataque tan violento del ácido se prepa

raba una aleación Zinc-Hg, evitando también con esto el desprendimiento de hidrógeno aunque no con la eficiencia requerida. Las placas positivas consistían en unas rejillas de una aleación de plomo, llenas con bióxido de plomo. Los separadores utilizados eran muy porosos para facilitar el escape del gas a través de ellos. El ácido sulfúrico utilizado fue químicamente puro, la concentración de este ácido fue arriba del 50%. Esta concentración afecta a la celda de un modo determinante y lo que sucede es lo siguiente: si la concentración es muy alta disminuye la eficiencia de la placa negativa aumentando de este modo la de la placa positiva.

Por otro lado, si la celda no trabaja a su temperatura mínima, afecta totalmente sus condiciones, por ejemplo, si funciona a menor temperatura el rendimiento de la celda es pequeño debido a que el electrodo negativo se ve afectado por la polarización. Esta celda, trabaja de ordinario con densidades de corriente altas, lo que la favorece notablemente.

¿Qué ventajas puede proporcionar la celda  $\text{PbO}_2$ -Sulfatos? Se efectuó un estudio amplio de la pila debido a que ofrece grandes posibilidades de éxito a escala industrial. Esta celda puede trabajar como pila secundaria, esto es, como pila reversible que se puede cargar y descargar. Los estudios hechos anteriormente no produjeron buenos resultados debido primordialmente a que se utilizó como electrolito el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y como en la descarga había desprendimiento de hidrógeno, entonces la pila no podía ser cargada debido a que el ácido sulfúrico no era regenerable. En el caso de este estudio experimental el ácido se rechazó parcialmente como electrolito, utilizándose una solución de sulfatos con una pequeña cantidad de sulfúrico.

Una vez conseguidas las condiciones óptimas de funcionamiento de la celda, se probará con el objeto de comparar su rendimiento con el de la pila,  $\text{Pb-H}_2\text{SO}_4\text{-PbO}_2$ . Por los datos obtenidos experimentalmente se ve que en esta pila los voltajes a circuito abierto son excelentes, fluctuando entre 1.9-2.3, lo que hace pensar que funcionará y se acoplará perfectamente a los automóviles, ferrocarriles, etc. -

\* Cabe hacer notar que este nuevo acumulador es más económico que el plomo-ácido, ya que el zinc es más barato que el plomo. \*

## Funcionamiento y descripción del acumulador Zn-Sulfatos-PbO<sub>2</sub>

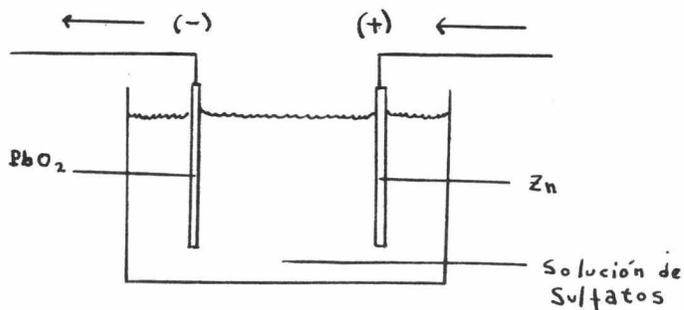
La celda consta de dos electrodos, cada uno de los cuales forma con el electrolito una media celda. Cada media celda tiene diferente signo, puede ser positivo o negativo, para esta pila el positivo es el PbO<sub>2</sub> y el negativo el zinc.

Las placas negativas son de aluminio con zinc galvanizado, el electrolito es una solución de sulfatos y una pequeña cantidad de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Entre las -- placas se colocan unos separadores para que el electrolito fluya libremente.

A continuación se describe el proceso de carga y descarga de la celda y se anotan las posibles --- reacciones parciales.

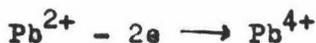
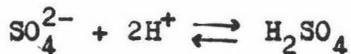
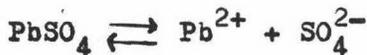
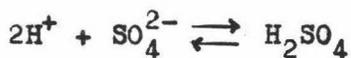
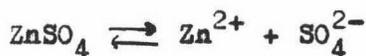
### a) Carga de la celda

La carga de la celda se realiza empleando co-- rriente directa de una fuente de energía.

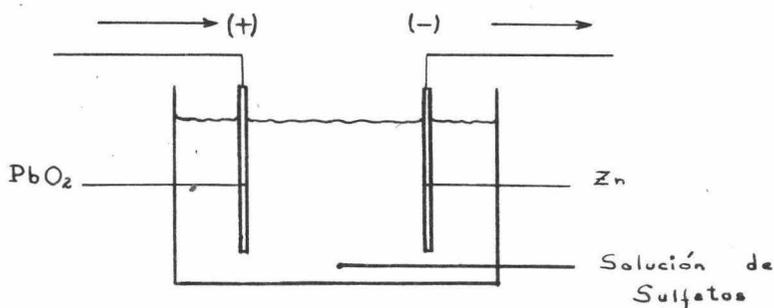


En el esquema se puede observar cómo se efectuó la carga del sistema: el  $\text{Pb}^{2+}$  se oxida a  $\text{Pb}^{4+}$  perdiendo dos electrones, estos circulan por el circuito externo, llegando a la placa negativa original. Aquí los iones  $\text{Zn}^{2+}$  pasan a Zn. Mientras tanto el  $\text{Pb}^{4+}$  - por medio de varias reacciones pasa a  $\text{PbO}_2$ . Después de cargar el sistema, se encuentra listo para operar.

Las reacciones que se llevan a cabo durante la carga son:



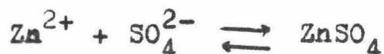
## b) Descarga de la celda



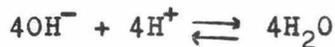
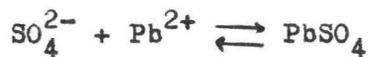
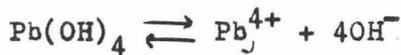
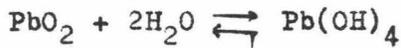
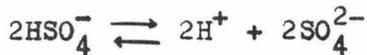
Durante la descarga se observa que en la placa negativa hay oxidación los electrones que pierde el zinc van al circuito externo, en tanto que los iones  $Zn^{2+}$  pasan al electrolito. La placa positiva recibe los electrones del circuito externo y, con ellos, se reduce el plomo de  $Pb^{4+}$  a  $Pb^{2+}$ .

Cuando se tiene una descarga, el  $H_2SO_4$  interviene en la reacción formando  $ZnSO_4$ , cuando el  $H_2SO_4$  casi se ha terminado la placa se ha descargado. Esto quiere decir, que la mayor parte del sulfúrico se utiliza para formar los sulfatos.

Las reacciones de descarga son:



Ahora bien, el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para formar los sulfatos tiene las siguientes reacciones:



La reacción general para todo el sistema es:



En este caso, no se puede decir que las dos placas quedan con sulfato de plomo en sus dos caras, - como ocurre en el acumulador de plomo, con los óxi-

dos de plomo, después de la descarga, ya que para afirmar tal cosa sería necesario efectuar una serie de experimentos, que condujeran a demostrar esta hipótesis. Se puede suponer que una de las placas queda con  $ZnSO_4$  y la otra con  $PbSO_4$ . No se trata de estudiar este problema ya que no es el objetivo de este trabajo, por lo tanto se dejará como suposición.

Si se lleva a cabo una comparación entre el acumulador Zn-sulfatos- $PbO_2$  y el acumulador  $Pb-H_2SO_4-PbO_2$ , se verá que tienen algunas características similares entre si. Por ejemplo, en la carga y la descarga se desarrollan casi las mismas reacciones, y los voltajes a circuito abierto de ambos son muy parecidos.

El electrolito y la placa negativa constituyen las diferencias, aunque las dos generan corriente, la de zinc no la produce, hasta ahora, con la eficiencia deseada debido a que no está optimizado.

A continuación se describe el funcionamiento del acumulador de plomo para observar mejor sus características.

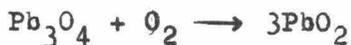
### c) El acumulador de plomo ácido

Este tipo de celda consta de las siguientes partes: electrodos de  $PbO_2$  y de plomo esponjoso res

pectivamente, y  $H_2SO_4$  diluido como electrolito. La disposición de estas placas es de tal forma que al pasar una corriente por su interior se establecen ciertas condiciones químicas y éstas a su vez generan corriente eléctrica. El electrodo positivo es la placa de  $PbO_2$ , esta placa originalmente tiene una composición que cambia después de efectuar la electrólisis, para obtener las placas normales, esto es, de  $PbO_2$ . La fórmula de la pasta inicial es la siguiente:

Minio ( $Pb_3O_4$ )	74%
$H_2SO_4$	25%
$(NH_4)_2SO_4$	1.0%

Las reacciones de la electrólisis son:



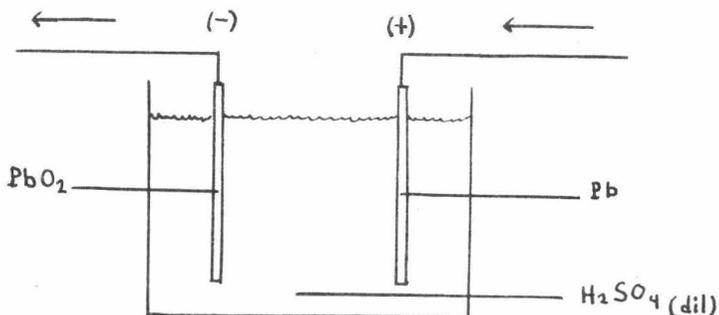
Por otro lado, las placas negativas se preparan con la siguiente mezcla:

litargirio (PbO)	74.2%
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	25.0%
MgSO <sub>4</sub> + BaSO <sub>4</sub>	0.8%

Una vez que las placas están preparadas quedan listas para su funcionamiento. Durante el proceso - las placas no deben tocarse y por ésto se les interponen unos separadores porosos para que fluya el -- electrolito. Los separadores son de madera, caucho y fibra de vidrio, debe tenerse cuidado al colocarlos entre los electrodos, porque tienen dos caras - una lisa que tocará directamente la placa negativa y una estriada que tocará la placa positiva.

#### d) Carga de la celda

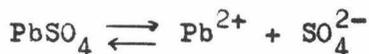
Para cargar la pila se necesita una fuente de corriente directa, las conexiones son según la Fig.



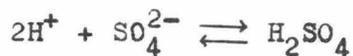
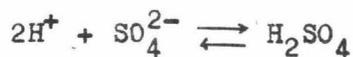
El  $\text{Pb}^{2+}$  se oxida a  $\text{Pb}^{4+}$  perdiendo los electrones, estos circulan por el circuito externo, llegando a la placa negativa para reducirla, pasando los iones de  $\text{Pb}^{2+}$  a  $\text{Pb}$ . Mientras tanto el  $\text{Pb}^{4+}$  por medio de varias reacciones pasa a  $\text{PbO}_2$ .

Las reacciones son:

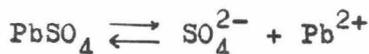
cátodo

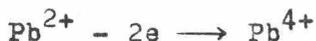


electrolito



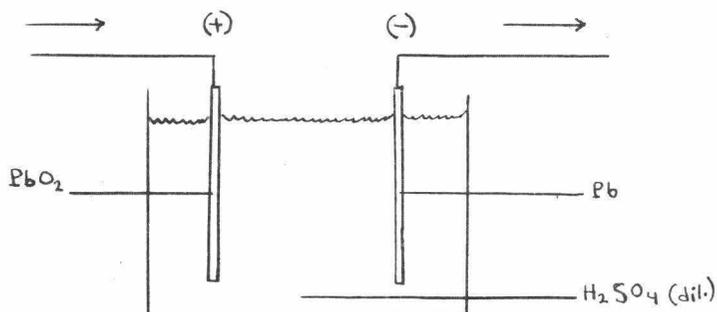
ánodo





e) Descarga de la celda

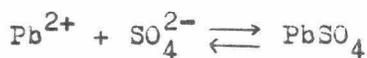
Para la descarga se puede observar la Fig. siguiente:



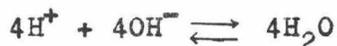
El Pb se oxida a  $\text{Pb}^{2+}$ , los dos electrones que pierde, salen al circuito externo, de aquí circulan al  $\text{PbO}_2$  reduciendo el  $\text{Pb}^{4+}$  a  $\text{Pb}^{2+}$ . Durante el proceso los dos  $\text{Pb}^{2+}$  pasan al electrolito para formar -- los sulfatos.

Las reacciones de descarga son:

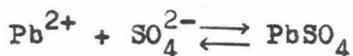
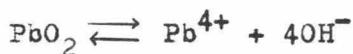
placa negativa



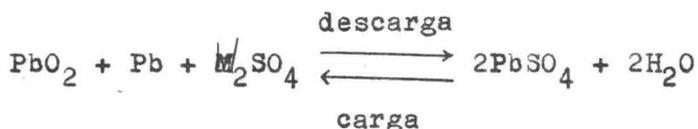
en el electrolito



placa positiva



La reacción general para todo el sistema es:



En esta reacción se observa que se forman dos sulfatos, este modelo se comprobó por medio de estudios con rayos X, o sea, que los electrodos tanto positivos como negativos se llenan durante la descarga de sulfato de plomo.

Cuando la celda deja de proporcionar corriente

sucede lo siguiente: el  $H_2SO_4$  pasa a formar  $PbSO_4$  y como se trata de una pila secundaria se puede volver a cargar, ya que al pasar corriente en sentido contrario, se llevan a cabo las reacciones en sentido contrario y se regenera la celda.

El voltaje de cada celda es de 2.2 volts, si se requiere un mayor voltaje, se conectan en serie las celdas necesarias. Así se tiene que si se colocan 4 celdas el voltaje total es de 8.8 volts. Debe tenerse en mente que la capacidad de la celda no varía, esto es, permanece constante.

Se entiende por capacidad el producto de la corriente (amp) por el tiempo (hora) que dura la celda produciendo dicha corriente, esta capacidad se mide en amper-horas. Un ejemplo de capacidad es el siguiente: supóngase que la capacidad es 50 amp-hr, si se aplica una corriente de 10 amp, se tendrá que la celda funciona durante 5 hrs; si la corriente es de 50 amp durará solamente 1 hora, esto es, la capacidad de la celda. Se sabe que la capacidad depende del material activo que está expuesto a la acción del electrolito; se ha encontrado generalmente que por cada centímetro cuadrado se tiene una capacidad de 0.05 amp-hr, con este fundamento se efectúa el siguiente cálculo. Supóngase que se tienen dos placas

positivas con una superficie de  $10 \times 20 = 200 \text{ cm}^2$ , pero como son cuatro caras el área es  $200 \times 4 = 800 \text{ cm}^2$ , este resultado por 0.05 da 40 amp-hr. Una fórmula simplificada es  $\text{amp-hr} = m \times a \times l \times 0.1$  donde:

$m$  = número de placas positivas de la cela

$a$  = ancho de las placas

$l$  = altura de las placas

0.1 proviene de la operación  $0.05 \times 2 = 0.1$ . Se multiplico por dos porque son dos caras de la placa cuando la capacidad en  $\text{amp-hr/cm}^2$  difiere de 0.05 entonces:

$$C = n \times a \times l \times 2 \times C_{\text{esp}}$$

## PARTE EXPERIMENTAL

a) Experiencias de galvanizado en las  
placas de aluminio

Inicialmente, se tenía la idea de substituir las placas de plomo esponjoso, por placas de fierro recubiertas con zinc y se efectuaron algunas experiencias en ese sentido. Más adelante se dan las características obtenidas inicialmente con este metal. Se eliminó esta idea, pues no se abatió la carga -- muerta de manera considerable y se pensó en utilizar placas de aluminio, con lo cual se obtiene una disminución de peso muy marcada.

Primeramente se efectuaron una serie de experiencias de depósitos de Zn sobre pequeñas placas de aluminio, con el objeto de obtener una densidad de corriente óptima para evitar la formación de dendritas, esto es, con la densidad de corriente ideal se evitan las arborescencias. Si éstas se obtienen --- afectan el funcionamiento de la celda ya sea en la carga o la descarga, en el transporte de corriente. Por último se buscó un depósito que tuviera una buena adherencia, esto es, que el galvanizado no se -- caiga al simple contacto de las manos.

Se tomó una fórmula de sulfatos con los que se

trabajó inicialmente, con esta fórmula se obtuvieron depósitos con formación de dendritas y picaduras. Lo último puede ser causado por la presencia de pequeñas cantidades de metales extraños en la solución.

Uno de los factores más importantes que intervienen en los depósitos, es la densidad de corriente. Si ésta, es muy grande el depósito no se efectúa cuantitativamente de acuerdo con las leyes de Faraday, esto es, se llevan a cabo reacciones secundarias que interfieren en los depósitos; un ejemplo de ellos es el desprendimiento de gases. Por lo tanto se debe manejar cuidadosamente la densidad de corriente.

Por otro lado, como se dijo antes, la presencia de metales extraños puede acelerar un ataque atmosférico y entonces reducir el valor protectoro del Zn, ya que la función de un galvanizado es proteger al metal que sirve de fondo.

Ahora bien, el depósito no tuvo una buena adherencia en la placa de aluminio por lo que se fueron aumentando paulatinamente  $\text{HgSO}_4$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a la solución, porque se ha observado que con el sulfúrico y con el sulfato se obtienen buenos depósitos. Antes de meter las placas de aluminio al baño, se lijaban, lavaban y desengrasaban con una solución de sosa y

por último se sometían a un baño de zincato de sodio de manera que se formara una delgada película; de este modo quedaban listas para el electrodepósito. Después de varios experimentos se llegó a la fórmula más adecuada y a la densidad de corriente ideal. Logrado esto se procedió a efectuar una carga y una descarga con una placa positiva, esto es, una pequeña rejilla obteniéndose buenos resultados.

Conseguidas las condiciones óptimas de trabajo se procedió a galvanizar las placas que posteriormente se utilizaron en la celda. Después del depósito, las espigas de las placas se recubrieron con cobre y por inmersión se les cubrió con una película de una aleación de Pb-Sb, todo con el fin de poder soldarlas al peine del poste y también evitar así la formación de pilas internas. Otro método de tratar las espigas, es depositar zinc en ellas, conseguido esto se soldan directamente al peine.



Una vez terminado todo lo anterior se procedió a montar el aparato para carga y descarga.

A continuación se dan los resultados experimentales que se obtuvieron durante toda la investigación.

## DATOS EXPERIMENTALES

## Solución I

	N	g/l
Cloruro de Zin ( $ZnCl$ )	2.0	136
Cloruro de sodio ( $NaCl$ )	4.0	234
Cloruro de aluminio ( $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ )	0.25	20

Placa de Fe - g	I amp	T min	Placa de Fe - g	Zn depositado	Área $cm^2$
196	2	30	197	1.0	16.75
187.2	2	30	138.15	0.95	12.92
177.8	2.5	45	179.1	1.3	12.92
229.1	1.0	25	229.4	0.3	23.80
225.7	2.5	50	227.5	1.8	23.80
229	2.5	10	229.5	0.5	23.80

## Solución II

	N	g/l
Sulfato de Zn ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ )	3.0	410
Sulfato de sodio ( $Na_2SO_4$ )	1.0	75
Sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ )	0.25	20

Los experimentos ahora se llevan a cabo con placas de aluminio.

Placa de Al - g	I amp	T min	Placa de Al - g	Zn depo_sitado	Área cm <sup>2</sup>
13.5	1.50	40	14.20	0.70	12.60
7.3	1.50	45	8.00	0.70	13.18
14.3	0.24	78	8.90	0.90	14.80
7.3	0.24	30	7.60	0.30	9.80
6.0	0.50	78	6.35	0.35	16.00
6.0	0.50	78	6.40	0.40	16.00
7.5	1.50	30	8.00	0.50	14.60
8.0	2.00	30	8.62	0.62	16.00
6.4	1.00	45	7.20	0.80	16.00

Durante el curso de la investigación se preparó una nueva solución para el depósito, a esta solución se le agregó una pequeña cantidad de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, para aumentar su conductividad.

### Solución III

	N	g/400 cm <sup>3</sup>
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	4	219
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	30
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0.25	16
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		5 ml

Tratando de que el depósito de zinc en las placas de aluminio fuera adecuado se pensó en la posibilidad de recubrirlas primero con una película de zincato de sodio y así obtener un depósito compacto, la fórmula para este baño de inmersión es:

Zincato de sodio

hidróxido de sodio	50 g
óxido de zinc	10 g
agua	100 ml

El NaOH, se disuelve en agua caliente, luego se le agrega el ZnO. También las placas se desengrasaron previamente antes de someterlas al baño de zincato. Para desengrasar se uso una solución de NaOH al 1.0%.

Con la solución III se llevaron a efecto varias experiencias en placas de aluminio, pero no condujeron a ningún resultado positivo, por lo cual se investigó con otra fórmula, esta es la solución IV que fue utilizada para galvanizar las placas de aluminio, que sirven para la celda.

Antes de encontrar la fórmula deseada, se investigaron otras posibilidades, que no condujeron a ningún resultado positivo, en las que se agregaron  $H_2SO_4$  y  $MgSO_4$ , en cantidades variables. Con la solución IV se encontró la densidad de corriente ideal las soluciones investigadas solamente se mencionan

pero no están descritas debido a que no condujeron al resultado buscado.

#### Solución IV

	g/l
ZnSO <sub>4</sub>	547.0
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	75.0
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	40.0
HgSO <sub>4</sub>	250 mg
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5 ml

Para una superficie de 0.40 dm<sup>2</sup> y una intensidad de corriente de 0.5 amp se encontró una densidad de corriente ideal con un valor de 1.25 amp/dm<sup>2</sup>.

$$I_d = \frac{I}{A} = \frac{0.5}{0.4} = 1.25 \text{ amp/dm}^2$$

En la fórmula de la solución IV cada sulfato - tiene un significado importante durante los depósitos de zinc.

Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	incrementa la conductividad
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	evita las arborescencias

$\text{HgSO}_4$  amalgama al zinc y lo prtege  
 contra la corrosión que efectúa el  
 ácido.

$\text{H}_2\text{SO}_4$  aumenta la conductividad

Después de obtener la fórmula deseada para el depósito de zinc, el problema se enfocó a la obtención de una solución que funcionara para la carga y la descarga. A continuación se da una lista de las soluciones utilizadas, con las variaciones hechas - en cada experiencia.

#### Solución V

	g/400 cm <sup>3</sup>
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (10%)	22
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	30
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	16
$\text{H}_2\text{SO}_4$	5 ml

#### Solución VI

	g/400 cm <sup>3</sup>
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (60%)	130
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	30

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	16
$\text{H}_2\text{SO}_4$	20 ml

## Solución VII

	g/400 cm <sup>3</sup>
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (80%)	175
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	30
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	16
$\text{H}_2\text{SO}_4$	10 ml

## Solución VIII

	g/400 cm <sup>3</sup>
$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	153
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	30
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	16
$\text{H}_2\text{SO}_4$	15 ml

Con ninguna de las soluciones V, VI, VII, VIII, se obtuvieron los resultados deseados, esto es, voltajes suficientemente altos, por lo cual se eliminaron totalmente estas soluciones.

### Solución IX

	g/500 cm <sup>3</sup>
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	180
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	40
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	20
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	30 ml

Con la solución IX se obtuvieron buenos resultados. Se efectuaron experiencias con placas de Zn amalgamadas, colocándose estas en la solución para ver qué cantidad de Zn se disolvía. Se efectuaron experiencias con Zn amalgamado debido a que tiene características parecidas a las de las placas de aluminio galvanizadas.

Después se montó un sistema Zn(amalgamado) - PbO<sub>2</sub> para medir voltajes. Los datos se dan más adelante.

La composición de la solución para amalgamar -  
es:

HgCl <sub>2</sub>	5 g
H <sub>2</sub> O	200 cm <sup>3</sup>

Los datos experimentales son: (para amalgamas)

para una hora

El peso antes de la experiencia

Zn puro en gramos	Zn amalgamado en gramos
23.80	24.30
25.30	26.20
24.60	25.00
22.40	23.30
24.32	24.15

El peso después de la experiencia

Zn puro en gramos	Zn amalgamado en gramos
24.10	23.60
25.05	26.15

24.48	24.94
22.28	23.22
24.20	24.03

a) Sistema Zn amalgamado-PbO<sub>2</sub>

Carga y Descarga

descarga

Voltaje	Amperaje	Tiempo (min)
1.60	0.650	6.15
1.20	0.360	6.30
1.15	0.320	6.45
1.10	0.260	7.00
1.00	0.250	7.15
0.50	0.155	7.30
0.40	0.152	7.45
0.40	0.151	8.00
0.40	0.151	8.15

En la gráfica I, se observa el proceso de descarga. El área del electrodo de Zn fue de 0.60 dm<sup>2</sup>, por lo tanto con este dato y la corriente se calculó la densidad de corriente.

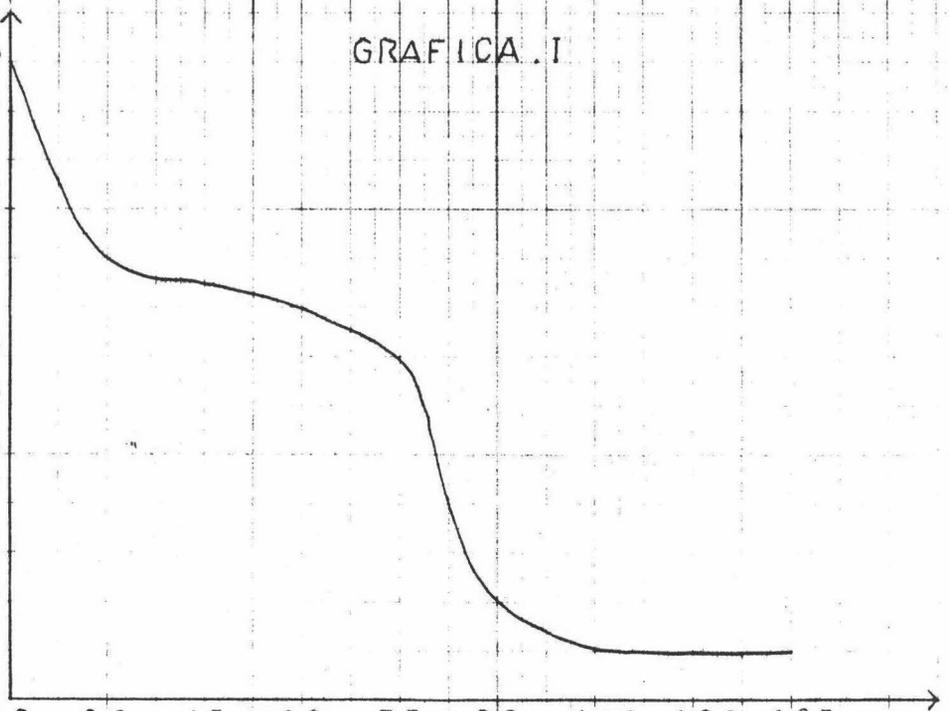
$$I_d = \frac{I}{A}$$

V(volts)

GRAFICA . I

1.6  
1.5  
1.4  
1.3  
1.2  
1.1  
1.0  
0.9  
0.8  
0.7  
0.6  
0.5  
0.4

15 30 45 60 75 90 105 120 135 T(min)



$$\frac{0.36}{0.60} = 0.600 \frac{\text{amp}}{\text{dm}^2}$$

$$\frac{0.32}{0.60} = 0.530$$

$$\frac{0.26}{0.60} = 0.450$$

$$\frac{0.25}{0.60} = 0.410$$

$$\frac{0.155}{0.60} = 0.260$$

$$\frac{0.152}{0.60} = 0.256$$

$$\frac{0.153}{0.60} = 0.253$$

Carga del sistema

Voltajes	Tiempo (min)
----------	--------------

1.50	15
------	----

2.50	30
------	----

2.20	45
2.15	60
2.30	75
2.20	90

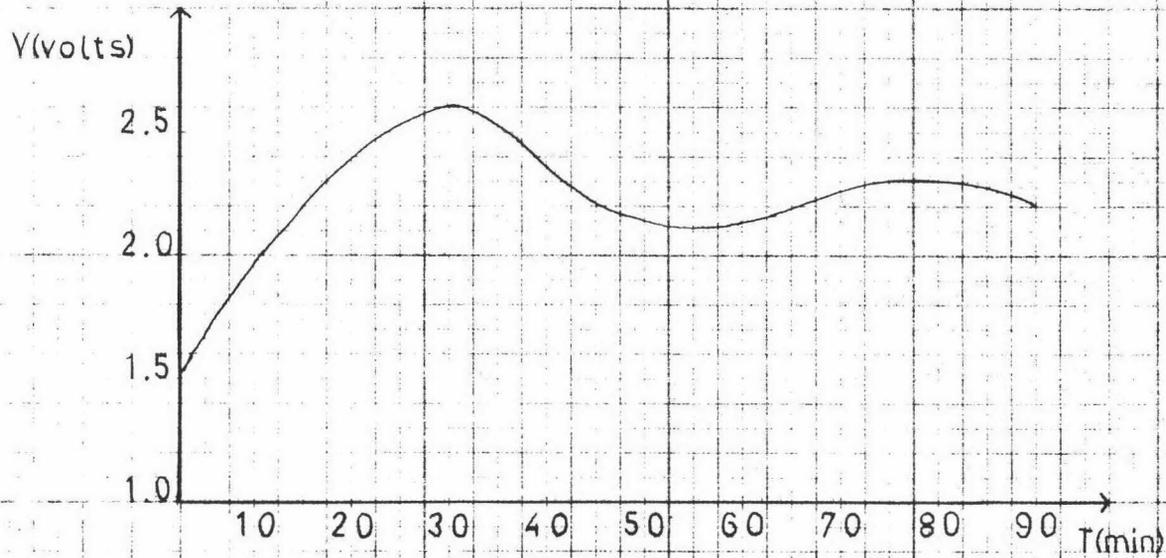
#### Descarga del sistema

Voltajes	Amperajes	Tiempo (min)
1.5	0.50	15
1.4	0.30	30
1.3	0.27	45
1.2	0.26	60
1.1	0.25	75
0.5	0.26	90
0.4	0.25	105

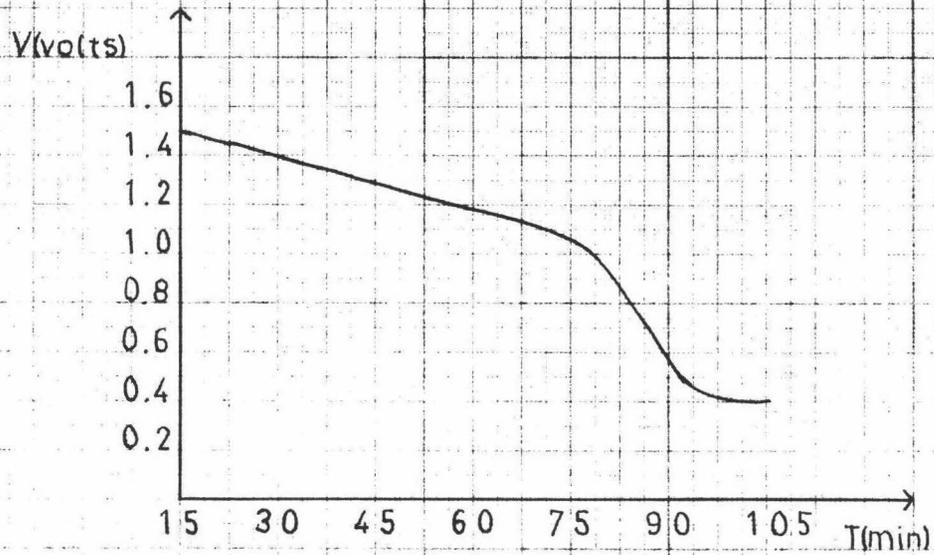
En las gráficas II y III se muestran los procesos de carga y descarga del sistema. Las variaciones de voltaje que se observan en la gráfica II, se pueden atribuir a errores de lectura en el multímetro.

A la solución IX se le agregaron  $10 \text{ cm}^3$  de ácido para tener un total de  $40 \text{ cm}^3$ , las lecturas de -descarga fueron las siguientes.

GRAFICA. II



GRAFICA.III



Voltajes	Amperajes	Tiempo (min)
0.4	0.220	15
0.4	0.220	30
0.4	0.220	45
0.4	0.220	60
0.3	0.125	75

Se preparó otra solución con 60 cm<sup>3</sup> de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y dio los siguientes resultados de descarga.

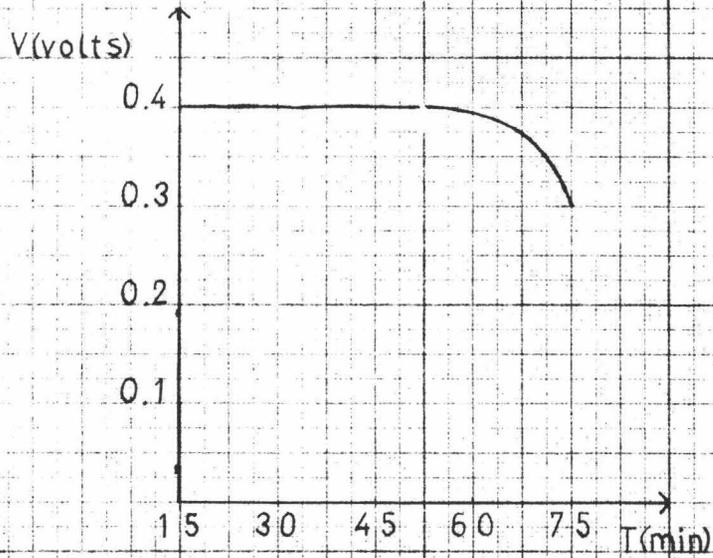
Voltajes	Amperajes	Tiempo
0.45	0.125	15
0.42	0.140	30
0.45	0.120	45
0.42	0.120	60
0.42	0.125	75
0.42	0.125	90
0.41	0.100	105

Las gráficas IV y V muestran el proceso de descarga del sistema.

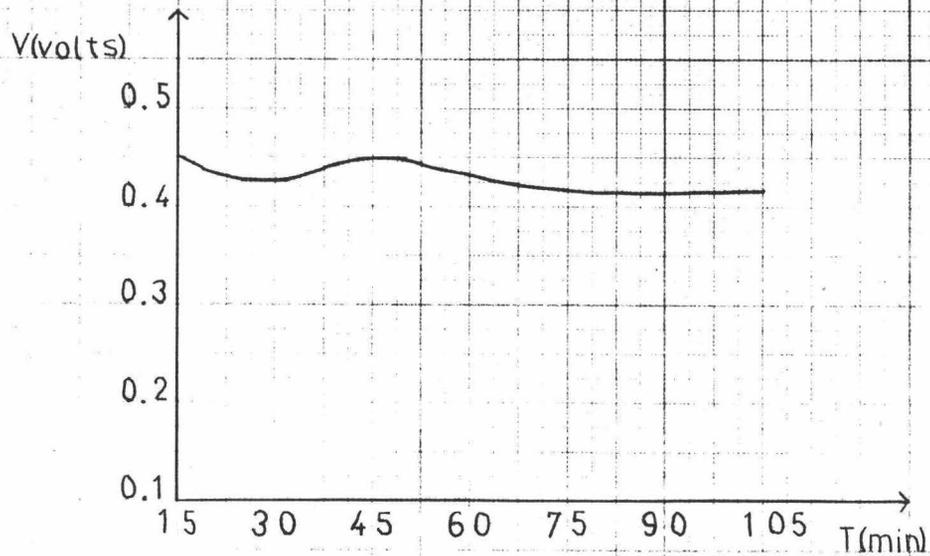
El ataque del ácido sobre las placas fue vio--lento y no se prosiguió experimentando.

De los datos de voltaje y amperaje se concluye que trabaja mejor la fórmula IX con 30 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - que con 40 ml, por lo cual se utilizó para las experiencias de carga y descarga de la pila.

GRAFICA.IV



GRAFICA. V



Con la solución IV se prepararon las placas de aluminio, esto es, se les depositó zinc y así se les sometió a funcionar como placas negativas. El área de las placas fue de  $3.54 \text{ dm}^2$ , por lo tanto la cantidad de corriente que utilizó fue de 4.4 amp, según la relación de densidad de corriente ideal.

$$I = I_d A = 1.25 \frac{\text{amp}}{\text{dm}^2} (3.54) \text{ dm}^2 = 4.4 \text{ amp}$$

Cada electrodepósito duró 6.0 horas, con 30 g de Zn depositados.

La resistencia externa es de 1.0 para la carga y la descarga.

DATOS EXPERIMENTALES DEL ACUMULADOR  
Zn-Sulfatos- $PbO_2$

Primera experiencia

descarga

T (horas)	V(volts)	I (amp)
0	1.80	1.80
1	1.43	1.43
2	1.30	1.30
3	1.10	1.10
4	0.88	0.88
5	0.77	0.77

carga

T (horas)	V (volts)
0	1.50
1	2.15
2	2.31
3	2.38

Segunda experiencia

descarga

T (horas)	V (volts)
0	1.60

1	1.25
2	0.92
3	0.70
4	0.58
5	0.50
6	0.45

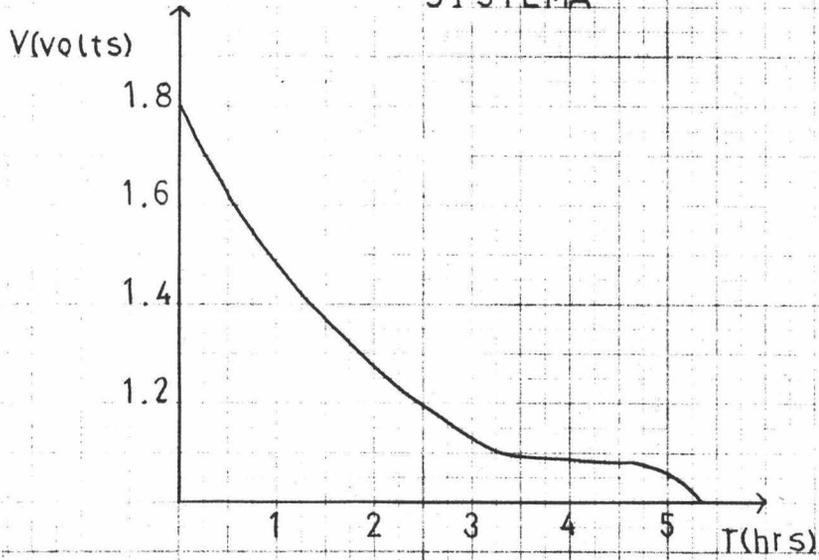
## carga

T (horas)	V (volts)
0	1.28
1	2.28
2	2.38
3	2.38

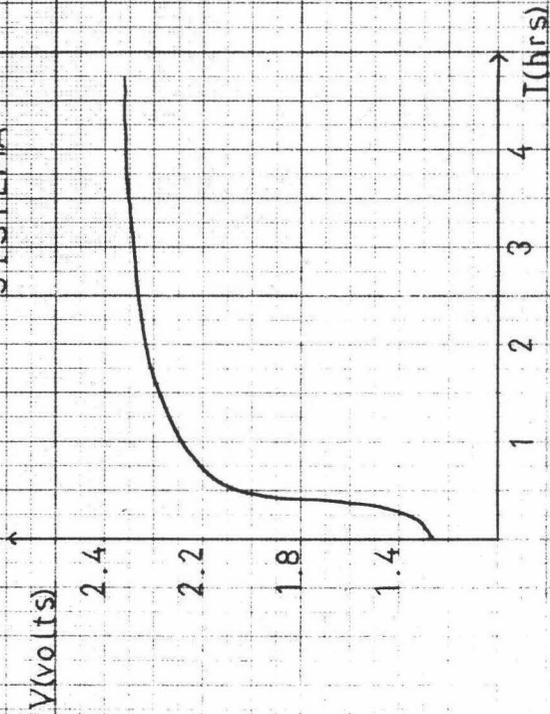
## última descarga

T (horas)	V (volts)
0	1.70
1	1.24
2	1.09
3	0.94
4	0.72

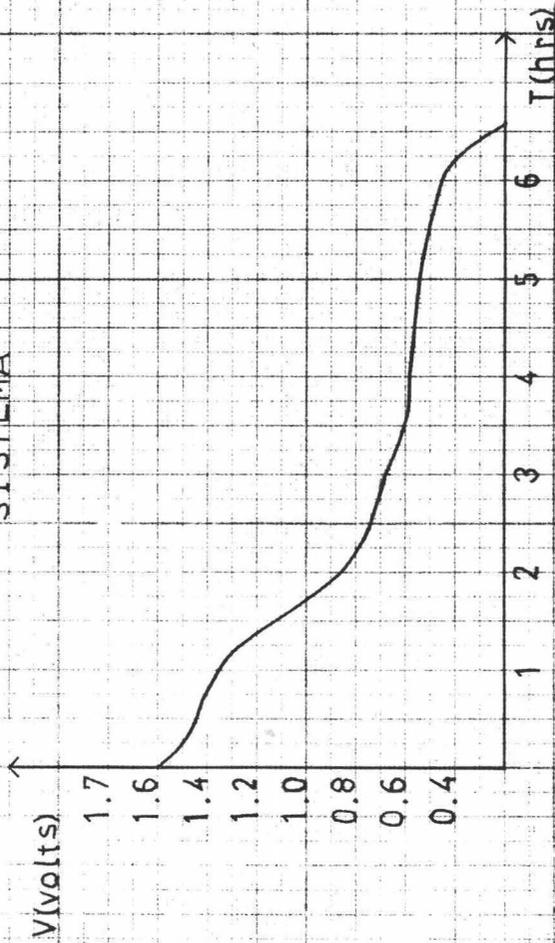
DESCARGA  
DEL  
SISTEMA



CARGA  
DEL  
SISTEMA



DESCARGA  
DEL  
SISTEMA

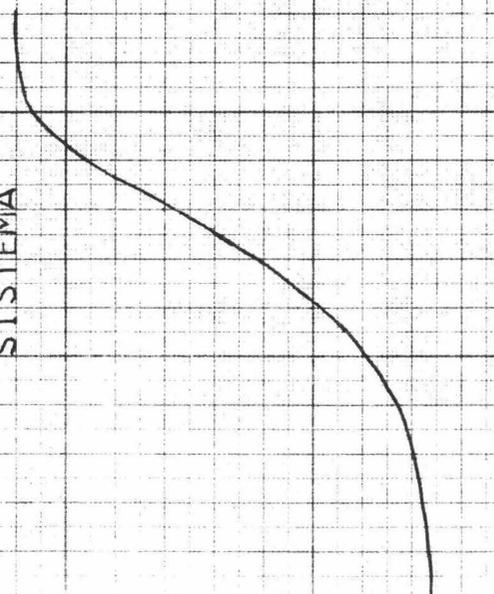


CARGA DEL SISTEMA

$V(vo(ts))$

0.5  
0.4  
0.3  
0.2  
0.1

1 2 3 4 5 6  
T(hrs)



## CALCULO DE LA EFICIENCIA TERMODINAMICA

La energía libre en el sistema es dada por:

$$-\Delta G = nFE_c$$

$n$  = número de electrones por molécula para la reacción

$$F = 96,500 \text{ cb}$$

$$E_c = 2.38 \text{ volts}$$

$$-\Delta G = 2 \times 96,500 \text{ cb} \times 2.38 \text{ V} = 193 \times 10^3 \times 2.38$$

$$-\Delta G = 459,340 \text{ joules.}$$

La energía eléctrica total es:

$$\xi = \int_{T=0}^{T=x} E_c \cdot i dt$$

$$\xi = E_c i T$$

$$\xi = 2.38 \times 2.38 \times 3 = 5.6644 \times 3$$

$$\xi = 16.9932 \text{ Vxampxseg} = \text{Vxcb} = \text{joule}$$

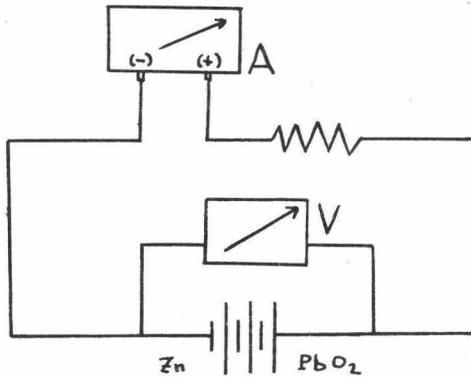
$$\xi = 16.9932 \text{ joules}$$

Para la eficiencia termodinámica está la relación,

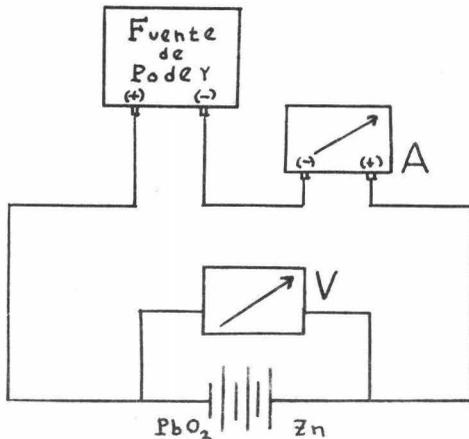
$$\epsilon = \frac{\xi}{-\Delta G}$$

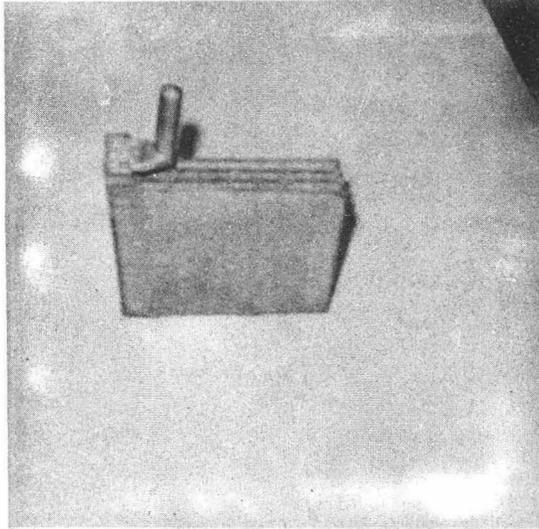
$$\epsilon = \frac{16.9932}{459.340} = 0.0038\%$$

CIRCUITO  
 DE  
 RESISTENCIA

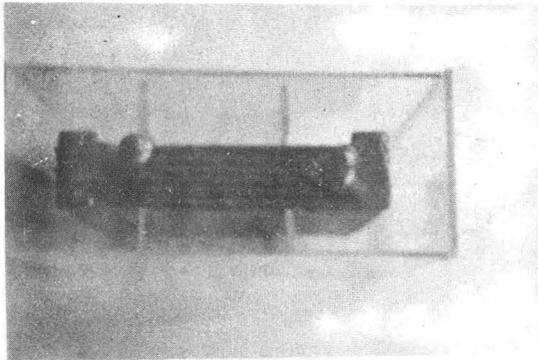


CIRCUITO  
 DE  
 CORRIENTE

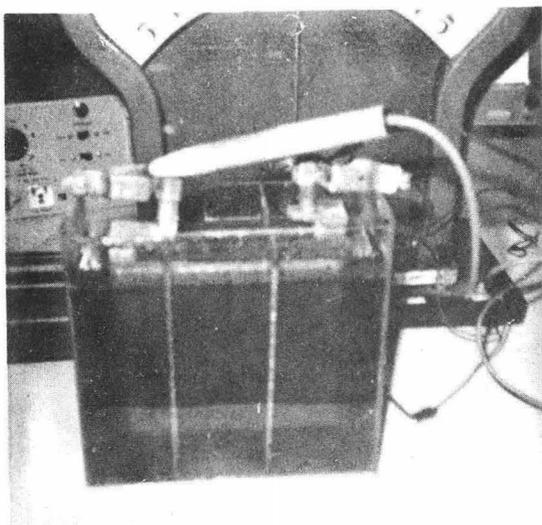




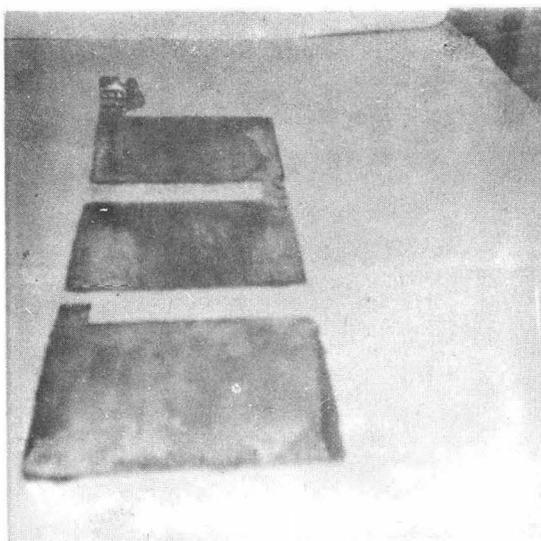
Una fotografia de las placas  
positivas.



Fotografía antes de funcionar  
la celda.



Fotografía de la celda en función



Fotografía de las placas negativas  
después del experimento

## CONCLUSIONES

Se puede observar en las gráficas de descarga que ésta fue muy violenta, lo cual provoca que se tenga una capacidad muy baja. Esto se debe a que la celda no tuvo el tiempo suficiente para que el electrolito se difundiera por los poros de las placas, ya que en las superficies de éstas se forman los sulfatos y obstruyen los poros, el aumento en la resistencia interna de la pila provoca también una pérdida en el voltaje.

Para evitar lo anteriormente dicho, será necesario llevar a cabo una optimización del acumulador esto es, hacer los cambios pertinentes ya sea en el electrolito o bien en el voltaje para la carga, o en su defecto cualquier otra condición incluso cambiar totalmente las placas negativas, en vez de utilizar placas de aluminio galvanizadas con zinc; utilizando solamente zinc puro, por ejemplo. Ahora bien, esto es tema para efectuar otro estudio amplio por lo tanto no se incluye en este trabajo experimental.

Por otro lado a escala industrial el acumulador tiene sus ventajas respecto al de plomo-ácido: es más económico, da el mismo voltaje por celda, utiliza tan solo una pequeña cantidad de ácido sulfúrico. Otra cosa importante es el hecho de que es bastante ligero.

## BIBLIOGRAFIA

Blum. William. PRINCIPLES OF ELECTROPLATING AND ---  
ELECTROFORMING (ELECTROTYPING). Pág. 316, 335.

Hempel, C. THE ENCYCLOPEDIA OF ELECTROCHEMISTRY ---  
REINHOLD PUBLISHING. N.Y., 1964 Pág. 466, 469.

Villarreal E. y S. Bello. FUENTES ELECTROQUIMICAS -  
DE CORRIENTE TEORIA Y PRACTICA. Ed. Limusa-Wiley,  
S.A. México., 1971.

W. J. Schotter JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIE  
TY. agosto 1952. Vol. 99, # 8. Pág. 2050, 2060.

W. Vinal STORAGE BATTERIES. Trad. Manuel Arce de la  
Cuarta Ed. Editorial Diana. México., 1960.