

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

"ELECTROQUIMICA BASICA DE ACUMULADORES"

TRABAJO PRESENTADO POR:

JORGE BALTAZAR BERDUGO FLORES

JULIO CESAR CHAVEZ GUERRA

PARA OPTAR AL TITULO DE

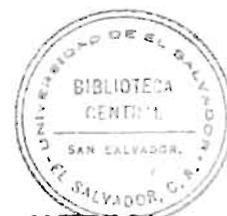
LICENCIADO EN QUIMICA

DICIEMBRE DE 1983.

SAN SALVADOR,

EL SALVADOR

CENTRO AMERICA.



T
541.37
B486e



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

DOCTOR MIGUEL ANGEL PARADA

SECRETARIO a. i.

DRA. ANA GLORIA CASTANEDA DE MONTOYA

FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA

DECANO:

DOCTORA AMELIA RODRIGUEZ DE CORTES

SECRETARIO:

ASESOR.

DOCTOR RAUL MAURICIO HERNANDEZ P.

JURADO CALIFICADOR.

DOCTOR EDUARDO BADIA SERRA

DOCTOR GUILLERMO ANTONIO NAVARRETE O.

LICENCIADO MARIO ALBERTO MUÑOZ VELA.

AGRADECIMIENTO.

A nuestro Asesor:

Doctor Raúl Mauricio Hernández, por la valiosa
cooperación que nos brindó.

A los Señores Jurados:

Por su pronta y valiosa cooperación.

A Gilma Mercedes Rauda B., por su colaboración, que
nos fué muy valiosa.

Jorge y Julio.

DEDICATORIA.

A Dios todo poderoso por iluminarme y haberme permitido alcanzar la meta trazada.

A mis Padres:

Fidelina Flores Amaya

Gilberto Vela

Quien con su empeño, sacrificios y cariño me otorgaron su aliento en procura de mi mejor camino.

A Gilma Mercedes Rauda

Que con su amor, ternura y comprensión me brindó siempre el apoyo moral y espiritual que necesite para poder superarme.

A mis Hermanos:

Clara, Carlos, Luis, Oscar, María del Carmen, - Delmy Yolanda y Olimpia Fidelina, por el apoyo y - comprensión brindado.

A mis Sobrinos, con cariño.

A mis familiares y amigos por sus palabras de aliento con aprecio y agradecimiento.

JORGE BALTAZAR.

DEDICATORIA

A Dios Todo poderoso:

Por permitirme hacer realidad mis aspiraciones.

A mis Padres:

José María Guerra y

Alpina Estela Chávez

Con agradecimiento por haber guiado mi vida.

A mi Esposa:

María Esperanza Figueroa Landaverde

Por el amor y apoyo ilimitado que siempre he encontrado en ella.

A mis Hijas:

Karla Ivonne Chávez Figueroa

Nancy Nathaly Chávez Figueroa

Por el verdadero amor que se convirtió en la fuente que inspiró la consecución de mi carrera.

A mi Hermana:

Gladys Elizabeth Chávez Guerra

Con cariño y gratitud por el apoyo moral que
en ella siempre encuentre.

A todas aquellas personas que de una u otra forma con-
tribuyeron a la realización de este trabajo.

JULIO CESAR.

INTRODUCCION.

El presente trabajo tiene como objetivo el estudio de parámetros que inciden en la eficiencia de un acumulador Nickel-Cadmio y para lo cual se hace necesario integrarlo con una información básica de electroquímica, para una comprensión clara y objetiva de los fenómenos físicos y químicos que se originan por el paso de corriente eléctrica a través de un dispositivo electroquímico y en particular del acumulador Nickel-Cadmio. Así la recepción o entrega de energía eléctrica en los dispositivos mencionados puede comprenderse mejor.

A continuación se hace una breve descripción del trabajo.

En el primer capítulo se hace una explicación elemental de fenómenos electrostáticos, eléctricos, electroquímicos, químicos y de carácter termodinámico. La mayoría de estos fenómenos suceden por el paso de corriente eléctrica a través de un dispositivo electroquímico.

El segundo capítulo hace referencia de Acumuladores en general, tanto en su funcionamiento; como su estructura.

ra; luego se describen las diferencias entre Acumuladores Alcalinos, con los de plomo ácido, luego se describe el - acumulador Nickel-Cadmio,

El tercer capítulo se refiere a medidas experimentales, observaciones y conclusiones.

I N D I C E .

Pág. No.

CAPITULO I	
1-	FENOMENOS ELECTRICOS BASICOS 1
A-	LEY DE COULOMB 1
B-	CAMPO ELECTRICO 2
C-	INTENSIDAD DEL CAMPO ELECTRICO 3
D-	DIFERENCIA DE POTENCIAL Y CALCULO ... 4
E-	FUERZA ELECTROMOTRIZ Y POTENCIA 7
	a) Transporte de Carga Eléctrica en el Circuito Exterior 8
	b) Transporte de Carga en el Inte- rior de la Batería 9
F-	MOVIMIENTO DE CARGAS Y CORRIENTE ELECTRICA 10
	a) Corriente Real 11
	b) Corriente Convencional 11
G-	TEORIA ELEMENTAL DE CELDAS ELECTRO <u>Q</u> QUIMICAS, REACCIONES QUIMICAS Y LEY DE FARADAY 13
A-	CELDA ELECTROQUIMICA 13
B-	REACCIONES QUIMICAS 14

	<u>Pág. No.</u>
C- LEY DE FARADAY	17
3- CELDA ELECTROLITICA	19
A- TRANSPORTE DE CORRIENTE	19
B- NUMERO DE TRANSFERENCIA EN UN PROCE <u>S</u> SO ELECTROLITICO	20
C- MOVILIDADES IONICAS	22
4- EFECTOS DEL PASO DE CORRIENTE-ELECTRO <u>Q</u> DO-SOLUCION	25
A- CORRIENTE SEMI-ELEMENTO-SOLUCION, ELECTRODO DE HIDROGENO	25
B- CORRIENTE EN SEMI-ELEMENTO-ELEC <u>T</u> ROLITO	25
C- SOBRETENSION	27
5- ELECTRODOS	29
TIPOS DE ELECTRODOS	29
a) Metal Ion del Metal	29
b) Electrodos de Amalgama	29
c) Electrodo de Gas	30
d) Electrodo Metal-Sal insoluble	30
e) Electrodo de Metal-Oxido insoluble	31

	<u>Pág. No.</u>
6- TERMODINAMICA DE LOS POTENCIALES DE ELECTRODOS	32
A- Potencial Normal de Electrodo ..	32
B- Cálculo de Potencial de Electrodo	32
C- Determinación de Potencial de Electrodo en una Celda Química con Transferencia	34
E- Cálculo de f.e.m. por Método Potenciométrico	35
F- Trabajo Eléctrico de una Celda Electroquímica	37
7- REACCIONES ELECTRODICAS Y MECANISMO ...	39
TRANSPORTE DE MATERIA	41
CAPITULO II	
1- ACUMULADORES	43
A- CONTROL EN LA CARGA-DESCARGA DEL ACUMULADOR	45
B- PARAMETROS QUE INFLUYEN EN LA CAPACIDAD DE UN ACUMULADOR	46
C- METODOS PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE UN ACUMULADOR	48

	<u>Pág. No.</u>
D- ACUMULADORES ALCALINOS	49
a) Reacciones Secundarias de Descarga	50
b) Ventajas de los acumuladores Al- calinos Comparado con los de Pl <u>o</u> mo Acido	50
E- ACUMULADOR NICKEL-CADMIO	51
a) Descripción General	51
b) Electrodo del Acumulador Nickel-Cadmio	52
b-1) Electrodo de Nickel	52
b-2) Electrodo de Cadmio	54
c) Reacción Total del Acumulador ...	54
d) Estructuras de Electrodo del Acumulador Nickel-Cadmio	56
e) Polarización de los Electrodo ...	57
f) Solución Electrolítica	59

CAPITULO III

PARTE EXPERIMENTAL	62
A- MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO	62

	<u>Pág. No.</u>
B- METODOLOGIA	63
C- OBSERVACIONES	73
1) Curvas de Carga	73
2) Curvas de Descarga	73
3) Densidad de Solución Electro- lítica	74
a) Medidas de Densidad del Proceso de Carga	75
b) Medidas de Densidad Proceso de Descarga	75
c) Variaciones de Densidad por Ciclo	76
4) Corriente Suministrada	77
5) Capacidad o Eficacia	77
D- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
GLOSARIO	87
BIBLIOGRAFIA	90

GRAFICOS Y CUADROS

	<u>Pág. No.</u>
Cuadro No. 1 f.e.m. y Tiempo en Carga	68
Cuadro No. 2 f.e.m. y Tiempo de Descarga ..	69
Cuadro No. 3 Densidad y Tiempo en Carga y Descarga	70
Cuadro No. 4 Densidad Promedio	71
Cuadro No. 5 Corriente Suministrada	72
Cuadro No. 6 Capacidad Coulombica	72
Cuadro No. 7 Eficacia Porcentual	72

FIGURAS.

Intensidad del Campo Eléctrico	4
Diferencia de Potencial	6
Circuito de f.e.m. y Potencia	8
Movimiento de Carga en un Acumulador	12
Celda de Daniel	13
Corriente Anódica y Catódica	26
Circuito de Poggendorff	36
Acumulador de Nickel-Cadmio	65
Circuito de Carga	66
Circuito de Descarga	67

CAPITULO I

1- FENOMENOS ELECTRICOS BASICOS.

A- LEY DE COULOMB.

AUGUSTIN DE COULOMB, utilizó la atracción y - repulsión eléctrica de esferas cargadas, para es tablecer que:

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

Donde F es la magnitud de la fuerza que actúa en cada una de las cargas y r la distancia que - las separa. Una ampliación del trabajo anterior fué el estudio de como varía la fuerza eléctrica con la cantidad de las cargas eléctricas aplica- das a las esferas.

El resultado de esta observación es condensada en la siguiente expresión:

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

En ella los factores q_1 , q_2 son la medida rela- tiva de las cargas eléctricas aplicadas a las es-

feras. La ecuación anterior se conoce como Ley - de COULOMB.

La introducción de la constante de proporcionalidad $4\pi E_0$, en la ecuación anterior permite escribir la igualdad.

$$F = \frac{1}{4\pi E_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Las unidades de E_0 dependerán del sistema utilizado. Por ejemplo en el sistema M. K. S., F. - se expresa en Newtons, q en Coulomb, r en metro y las unidades de E_0 o constante de permitividad - son:

$$\frac{\text{Coulomb}^2}{\text{Newtons-M}^2}$$

B- CAMPO ELECTRICO.

El espacio que rodea a una varilla cargada parece estar afectado por ella y a este espacio se denomina campo eléctrico.

El campo eléctrico se representa por un vector que se conoce como vector campo eléctrico \vec{E} . La

dirección de este será por definición de la dirección de la fuerza \vec{F} y su sentido será igual al de la fuerza que actúa en la carga de pruebas.

Si una carga puntual positiva se coloca en un punto donde existe un campo eléctrico, la fuerza que actúa sobre la carga tendrá la misma dirección y sentido que el campo, originando un desplazamiento de la carga en el sentido del vector \vec{F} . Una carga negativa colocada en el mismo punto tiende a moverse en sentido contrario al campo.

C- INTENSIDAD DEL CAMPO ELECTRICICO.

Si en un campo eléctrico se coloca una carga puntual, y una carga de prueba q , esta será afectada por una fuerza F con la misma dirección y sentido del campo eléctrico E , entonces la intensidad del campo o módulo del vector E se define como el módulo de la fuerza por unidad de carga, sus unidades son Newton/Coulomb.

$$E = \frac{F}{q} \quad (2)$$

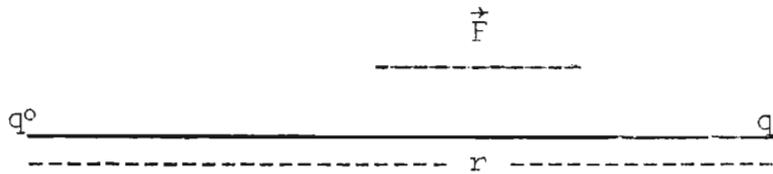


Fig. 1 INTENSIDAD DEL CAMPO ELECTRICO CREADO POR UNA CARGA PUNTUAL q^0 , SOBRE UNA CARGA DE PRUEBA q .

D- DIFERENCIA DE POTENCIAL Y CALCULO.

Si se coloca una carga (q) en un campo eléctrico, actúa sobre esta una fuerza F cuyo módulo es proporcional a la intensidad del campo. Si se señalan dos puntos A y B en un campo eléctrico, y se coloca una carga ($q+$) en el punto A , ésta se desplaza hacia B , por la existencia de una diferencia de potencial entre los puntos señalados:

$$V_A - V_B = \frac{W_{AB}}{q} \quad (3)$$

Así la diferencia de potencial entre dos puntos previamente señalados, esta dada por la relación que existe entre el trabajo efectuado por el campo eléctrico sobre la carga, este trabajo puede ser positivo, negativo o nulo, dependiendo del potencial

en A.

En el sistema internacional, la unidad de diferencia de potencial es:

$$\frac{\text{Joule}}{\text{Coulombs}} = \text{Voltio}$$

Para calcular la diferencia de potencial se determina el trabajo W_{AB} , que realiza el campo sobre la carga de prueba positiva, cuando se traslada de A hacia B.

Este trabajo W_{AB} puede calcularse para cualquier ruta que siga la carga ($q+$) en su desplazamiento. - Un ejemplo claro y muy apropiado para el propósito - del presente trabajo, es el cálculo de la diferencia de potencial en un campo uniforme.

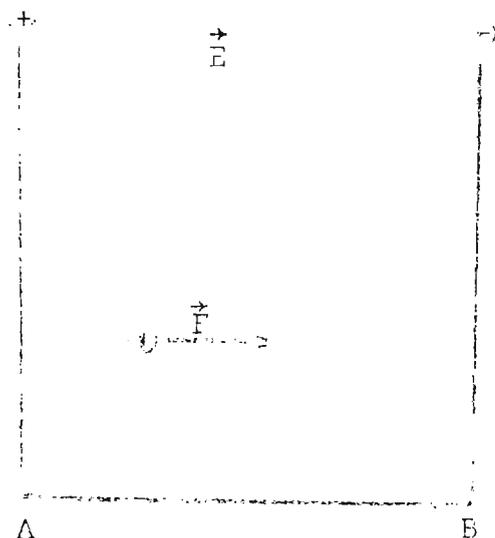


Fig. 2 DIFERENCIA DE POTENCIAL EN UN CAMPO UNIFORME.

En la figura 2, el trabajo W_{AB} que origina el traslado de la carga ($q+$), de la placa A hacia la placa B es igual al producto del módulo de la fuerza eléctrica F , que actúa sobre la carga por la distancia (d) que separa las placas (A-B); ($W_{AB} = Fd$). Como la fuerza eléctrica F es constante en un campo uniforme, esto permite calcular el trabajo de A hacia B, (W_{AB}), de forma inmediata.

Si el módulo de la fuerza F es igual al producto de la intensidad del campo por la carga (q):

$$F = qE \quad (4)$$

y el trabajo efectuado por el campo eléctrico está dado -

por:

$$W_{BA} = F \cdot d \quad (5)$$

$$W_{AB} = qEd = (V_A - V_B)q$$

$$(V_A - V_B)q = E \cdot d \cdot q.$$

$$(V_A - V_B) = \frac{E \cdot d \cdot q}{q}$$

$$(V_A - V_B) = E \cdot d \quad (6)$$

Entonces la diferencia de potencial (voltaje) entre la placa A y la placa B es función de la intensidad del campo y de la distancia que separa las placas.

E- FUERZA ELECTROMOTRIZ Y POTENCIA.

Las baterías generadoras de corriente eléctrica son dispositivos capaces de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos; esta diferencia de potencial origina un flujo continuo de cargas eléctricas cuando los puntos son unidos por un conductor. Para

conceptualizar el fenómeno, es conveniente visualizar - dos tipos de transporte:

a) Transporte de Carga Eléctrica en el Circuito Exterior.

En el circuito de la figura 3. De la fuente de f.e.m. o batería crea un campo eléctrico en el conductor y un movimiento continuo de portadores de cargas positivas, en la misma dirección del campo eléctrico (E). Estos portadores tienden a moverse del punto de mayor potencial al punto de menor potencial.

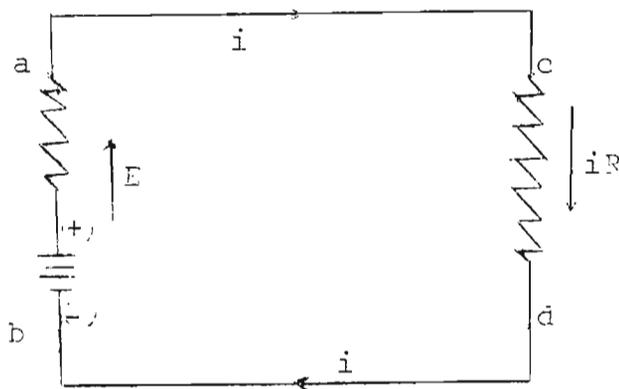


Fig. 3 CIRCUITO DE f.e.m. Y POTENCIA.

Punto a. b. Indican límite de circuito interno del Acu mulador,

puntos c. d. son del Conductor en circuito externo.

b) Transporte de Carga en el Interior de la Batería.

Los portadores de carga, al penetrar en el acumulador, lo hacen en el punto de menor potencial. Para mantener la circulación continua de carga, estas tendrán que desplazarse en el interior del acumulador - de un punto de potencial menor a otro de mayor potencial. La circulación ininterrumpida de los portadores de carga, hacen necesario que en el interior de la batería se genere la energía suficiente, para que el transporte de carga (q) sea posible.

La capacidad que posee la batería para conducir cargas positivas de un punto de bajo potencial a otro de potencial más alto, se determina por la relación existente entre el trabajo (W) que realiza y la carga (q) que se transporta. Este cociente resultante de la relación entre trabajo y carga, representa el trabajo - que realiza el generador electroquímico por unidad de carga que transporta y se denomina fuerza electromotriz, también conocida como electromotancia.

$$\xi = \frac{W}{q} \quad (7)$$

Una batería es una fuente de fuerza electromotriz ó fuente de corriente y es todo dispositivo capaz -

de realizar trabajo sobre todas las cargas que pene -
 tran a el, su potencia, es la energía que puede entreg
 ar, si el trabajo se realiza en la unidad de tiempo.
 La ecuación para el cálculo de la potencia, se obtie-
 ne, a partir de la ecuación (7).

$$W = q \cdot \xi \quad (8)$$

$$q = it \quad (9)$$

$$W = it\xi$$

$$\frac{W}{t} = i\xi \quad (10)$$

$$P = i\xi \quad (11)$$

$$P = i \text{ (amperios)} \xi \text{ (voltios)}$$

$$P = \text{Vatios} = \frac{\text{Joul}}{\text{Seg.}}$$

F- MOVIMIENTO DE CARGAS Y CORRIENTE ELECTRICA.

En un conductor metálico, los electrones se encuen-
 tran en movimiento desordenado por la agitación térmi-

ca; este movimiento impide un transporte de carga. - El promedio de electrones que se desplazan en un sentido es igual al número de los que se desplazan en - sentido contrario, esto equivale a decir, que en un - conductor metálico existen cargas eléctricas libres.

Si los terminales del conductor se conectan a los polos de una batería, se establece un campo eléctrico (\vec{E}). En todos los puntos interiores del conductor, el campo eléctrico actúa sobre los electrones - dándoles un movimiento en dirección opuesta al campo aplicado.

a) Corriente Real. Los generadores de la corriente eléctrica son los electrones y en los conductores metálicos son los que conducen carga eléctrica. - (Ver figura 4).

b) Corriente Convencional. Observando la figura se puede decir que la corriente convencional es aquella, en la cual el movimiento y dirección de cargas positivas en el conductor, es el mismo del - campo aplicado y contrario al movimiento de los - electrones.

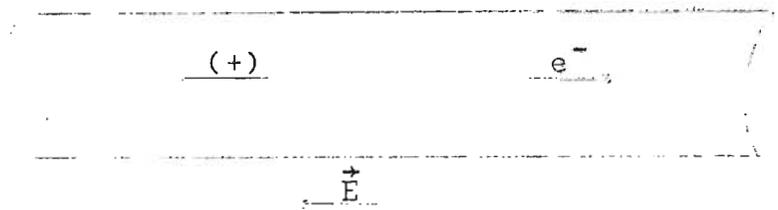


Fig. 4 MOVIMIENTO DE CARGAS EN UN CONDUCTOR.

2- TEORIA ELEMENTAL DE CELDAS ELECTROQUIMICAS, REACCIONES QUIMICAS Y LEY DE FARADAY.

A- CELDA ELECTROQUIMICA.

Una celda electroquímica está constituida por dos electrodos separados y sumergidos en un electrolito, si en esta celda ocurre una reacción química que genere corriente eléctrica; se le llama celda galvánica. Si la celda funciona únicamente como conductora de corriente, se le llama celda electrolítica.

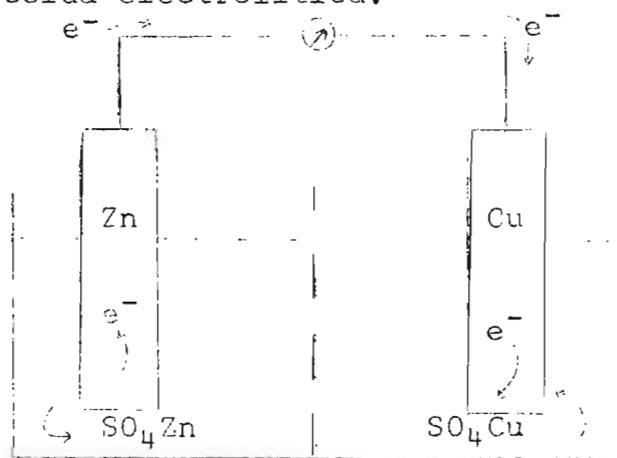


Fig. 5 CELDA DE DANIEL, FORMADA POR ELECTRODO DE CINC, EN UNA SOLUCION DE SULFATO DE CINC Y UN ELECTRODO DE COBRE EN UNA SOLUCION DE SULFATO DE COBRE, SEPARADOS POR UNA PLACA POROSA.

Un dispositivo electroquímico adecuado para comprender el origen de la producción de corriente a través de reacciones químicas es la celda de Daniel.

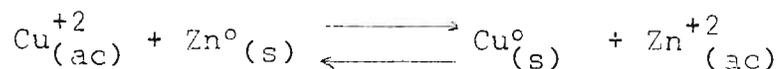
Observando la celda Daniel, se puede decir que la producción de corriente se basa en el flujo de electrones de la parte negativa hacia la parte positiva originando una reacción de óxido-reducción. Los electrones que llegan al electrodo de cobre, son captados por los iones cobre de la solución. El proceso de oxidación-reducción, son reacciones de producción y consumo de electrones; la producción de electrones se origina en el electrodo de cinc que es negativo, dicho electrodo sufre alteraciones ya que el proceso de oxidación obliga al metal a incorporarse en la solución.

La participación de iones sulfato es mantener la electroneutralidad del sistema (electrodo-solución).

B- REACCIONES QUIMICAS.

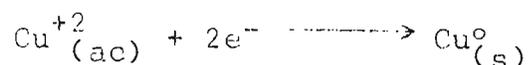
La reacción química neta que se produce en la celda Daniel, cuando ésta genera corriente eléctrica -

es:



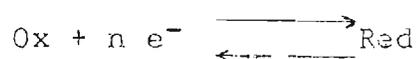
utilizando las teorías:

- a) De los electroquímicos y químicos analíticos, - se deduce que la tendencia mayor a ganar electrones corresponde al semielemento.



ya que este semielemento posee un potencial de - reducción más positivo y en consecuencia una ten - dencia mayor para dirigir el cambio químico. -

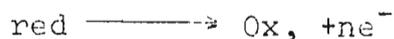
Para la ecuación:



Los potenciales basados en ella por conven - ción, se denominan potenciales de reducción de electrodo, así el potencial para el semielemento $\text{Cu}^{+2}_{(\text{ac})} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Cu}^{\circ}(\text{s})$ será más positivo que el correspondiente a: $\text{Zn}^{+2}_{(\text{ac})} + 2\text{e}^{-} \rightleftharpoons \text{Zn}^{\circ}(\text{s})$.

- b) La teoría de los químico-físicos ha utilizado - potenciales para los semielementos, que se cono

cen como potenciales de oxidación.



de acuerdo con esta convención, el potencial $\text{Zn}^{+2} + 2e^{-}$, será más positivo que el semielemento $\text{Cu}^{+2} + 2e^{-}$.

Cuanto mayor sea la tendencia a sufrir oxidación o a producir electrones, más positivos serán el potencial de oxidación. En síntesis:

- a) Estos procesos en las celdas electroquímicas pueden manejarse utilizando tablas de potenciales de reducción u oxidación.
- b) Considerando efectos simples de cargas positivas y negativas, se puede decir la teoría electroquímica y química analítica, considerando - que las cargas negativas o electrones se dirigen hacia potenciales positivos, que es la región positiva termodinámicamente inestable, - cuando llegan los electrones adquiere estabilidad. Por otra parte, el segundo de los critérios considera que la región reducida presenta cierta inestabilidad y que es el desprendimien

to de cargas negativas el que orienta a una mayor estabilidad y a la vez dirige el cambio - químico.

C- LEY DE FARADAY.

La producción y consumo de electrones en la celda Daniel en el proceso total, se puede analizar - considerando que para depositar un mol de átomos - de cobre o para incorporar un mol de cinc a la solución, se necesitan liberar dos moles de electro- nes; entonces la cantidad de electricidad que corresponde a este proceso se puede calcular de:

- a) La cantidad de electricidad que va asociada a - un número n de electrones, que corresponden al número de Avogadro.
- b) La carga eléctrica del electrón 4.803×10^{-10} u.e.s.
- c) El equivalente de un Coulomb es 3×10^9 u.e.s.

La relación de (b) con (c), resulta 1.602×10^{-19} coul.

El producto de este con el número de Avogadro, - es la carga eléctrica neta (eN) equivalente a 96500 coulomb/mol. Donde: e = carga del electrón y N = el número de Avogadro.

Este resultado se denomina Faraday o Faraday/mol.

3- CELDA ELECTROLITICA.A- TRANSPORTE DE CORRIENTE.

La corriente total que circula en una celda electrolítica es igual a la suma de la corriente transportada por iones positivos y negativos presentes en la solución.

Para determinar el transporte de corriente por iones positivos se emplea la siguiente ecuación:

$$I_+ = (n^+ Z^+) \left(\frac{e}{d} \right) (V^+)$$

y para el transporte de corriente por iones negativos lo siguiente:

$$I^- = (n^- Z^-) \left(\frac{e}{d} \right) (V^-)$$

n = número de iones

z = carga del ion

e = carga electrónica

d = distancia de electrodos

V = velocidad de migración iónica promedio

I = corriente transportada por los iones

Se puede observar que los factores que aparecen en el miembro derecho de cada una de las ecuaciones y que multiplican a la velocidad de migración de iones positivos y negativos son esencialmente constantes. Si se recuerda el principio de electroneutralidad de la solución y la geometría de la celda electrolítica, la fracción de corriente que transportan los iones en la solución es directamente proporcional a la velocidad promedio de migración de los iones.

$$I^+ = K (V^+); I^- = K (V^-)$$

Al sumar la corriente I^+ con I^- para obtener la corriente total I_T se deduce que esto es proporcional a la suma de las velocidades promedio de los iones positivos y negativos.

$$I_T = K(V^+) + K (V^-) = K (V^+ + V^-)$$

B- NUMERO DE TRANSFERENCIA EN UN PROCESO ELECTROLITICO.

Las fracciones de corriente transportada por

los iones positivos (cationes) y iones negativos (aniones) se obtienen de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{I^+}{I_T} = t^+$$

$$\frac{I^-}{I_T} = t^-$$

A estas fracciones se les denomina número de transporte catiónico y aniónico respectivamente algunos autores les llaman también número de transferencia ó índice de transporte.

Entonces, la corriente total transportada es determinada con la siguiente ecuación:

$$t^+ + t^- = 1$$

I^+ = Corriente transportadora de cationes

I^- = Corriente transportadora de aniones

I_T = Corriente total transportada

t^+ = Número de transferencia o número de transporte catiónico.

t^- = Número de transferencia o número de transporte aniónico.

Entre los factores que alteran el índice de transferencia están:

La temperatura, la concentración de la solución, Naturaleza de especies iónicas y la intensidad del campo eléctrico.

C- MOVILIDADES IONICAS.

Las movilidades de los iones en disolución dependen de los mismos factores que afectan al número de transporte y a la velocidad promedio de migración iónica. Si para una solución en particular se mantiene la concentración y temperatura constante, la velocidad promedio de los iones es proporcional a la intensidad del campo eléctrico.

$$V^+ = U^+ \cdot E$$

$$V^- = U^- \cdot E$$

E = Campo eléctrico

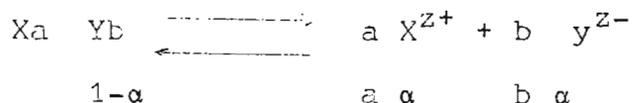
V = Velocidad promedio de los iones

Donde U^+ y U^- , son movilidades iónicas que se definen como la velocidad de los iones en Cm.Seg^{-1} , -

en un campo eléctrico, de intensidad unitaria, algunos autores llaman E gradiente de potencial las unidades para la movilidad iónica son:

$$\text{Cm seg}^{-1} \text{ Volt}^{-1}$$

Si un mol de electrólito (X_a, Y_b), está contenido en el volumen generado por un par de electrodos, que se encuentran separados un centímetro de distancia y si a los electrodos se les aplica una diferencia de potencial; el proceso de disociación es:



Donde α es el grado de disociación, z las valencias de los iones.

El número de iones presentes en la solución será:

$$\begin{aligned} n^+ &= a \alpha N \\ n^- &= b \alpha N \end{aligned}$$

Donde N es el número de Avogadro. Aplicando el principio de electroneutralidad, la corriente total que circula por la solución es:

$$I_T = \frac{a z^+ \alpha N e}{d} (V^+ + V^-)$$

Ahora si un faraday (F) es igual a la carga - del electrón por el número de Avogadro entonces la corriente total que circula por la solución - es:

$$\begin{aligned} I_T &= \frac{a z^+ \alpha F}{d} (V^+ + V^-) \\ &= \frac{a z^+ \alpha F}{d} (U^+ E + U^- E) \\ &= \frac{a z^+ \alpha F E}{d} (U^+ + U^-) \end{aligned}$$

Para un electrólito completamente disociado $\alpha \rightarrow 1$ y $F=1$ Faraday, entonces la corriente es proporcional a las movilidades ionicas (U) y al campo eléctrico (E), que actúa en la solución. Si E se mantiene constante la corriente eléctrica - es proporcional a la movilidades ionicas; donde la constante de proporcionalidad es el producto de las constantes; a, F, E y α .

4- EFFECTOS DEL PASO DE CORRIENTE-ELECTRODO SOLUCION.A- CORRIENTE SEMI-ELEMENTO-SOLUCION. ELECTRODO DE
HIDROGENO.

Al equilibrio de la reacción:



le corresponde un potencial de equilibrio, si este potencial aumenta, se tornará más positivo incrementando la tendencia del semi-elemento a producir electrones y forzando su desplazamiento de derecha a izquierda; el hidrógeno se oxida y una corriente positiva se dirige hacia la solución. Si el potencial disminuye, se tornará más negativo; incrementando la tendencia a captar electrones; y forzando su desplazamiento de izquierda a derecha, produciéndose una liberación de hidrógeno-gas. Una corriente positiva; se dirige hacia el electrodo y una corriente negativa va hacia la solución.

B) CORRIENTE EN SEMI-ELEMENTO-METAL-ELECTROLITO.

Si una corriente positiva viaja del metal al

electrólito, el semi-elemento actúa como ánodo, y la corriente se denomina, corriente anódica.- Si la corriente positiva viaja de el electrólito al metal, el electrodo trabaja como cátodo y la corriente se denomina corriente catódica, la corriente anódica es positiva y la corriente catódica es negativa.

Corriente Anódica

$$i_a > 0$$

Corriente Catódica

$$i_c > 0$$

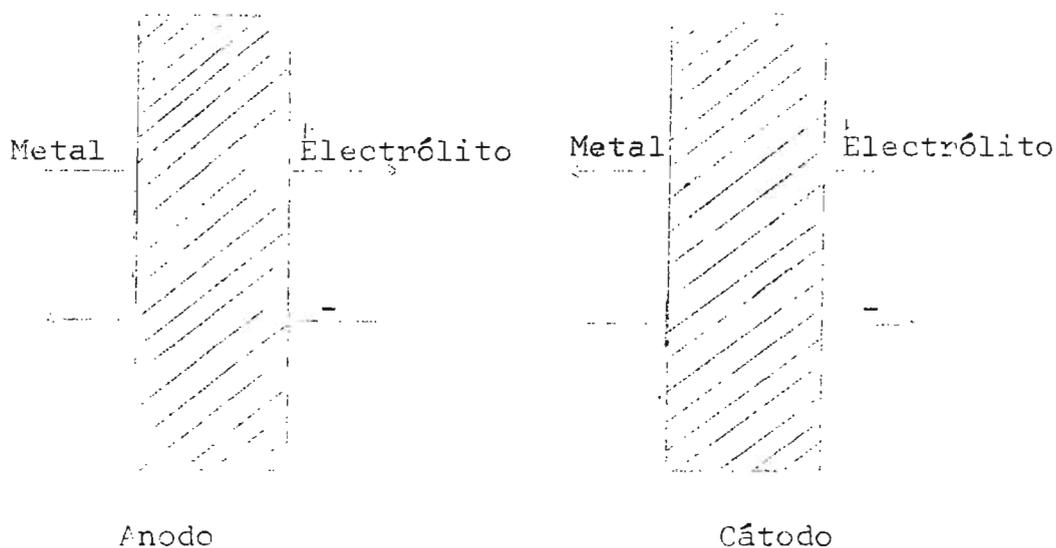


Fig. 6 CORRIENTE ANODICA Y CATODICA.

C- SOBRE TENSION.

En condiciones de equilibrio no pasa corriente por un semielemento, el potencial del semielemento es el potencial de equilibrio. Cuando la corriente circula por el semielemento, el valor del potencial para una determinada corriente (C) es E_i , el cual es diferente al potencial de equilibrio (E_o); es decir la corriente que circula por el semielemento depende de la diferencia que exista, entre el potencial aplicado (E_i) y el potencial de equilibrio (E_o). Esta diferencia de potenciales se conoce como sobrepotencial, sobrevoltaje o sobretensión;

$$E_{ST} = E_i - E_o; \text{ donde } E_{ST} = \text{Sobretensión}$$

Cuando la corriente externa es nula y no existe potencial de equilibrio, la diferencia de potenciales, a corriente cero ($i=0$) o ($i \neq 0$) se conoce como polarización (E_p) $E_p = E_o$.

Polarización y sobretensión son idénticas, cuando solo existe una reacción de electrodos, en ese

caso el potencial a ($i=0$), es igual a E_0 ; desde luego que el potencial de equilibrio (E_0), es - aquel, que se manifiesta cuando no pasa corriente por el electrodo.

5- ELECTRODOS.

En un proceso de oxidación-reducción, los electrones simples constan generalmente de un elemento en dos estados de oxidación ó de un conductor inerte en contacto con iones en diferentes estados de oxidación.

TIPOS DE ELECTRODOS.

Los electrodos utilizados en celdas electroquímicas o galvánicas, se pueden clasificar en los siguientes tipos:

a) METAL ION DEL METAL.

Estos electrodos son reversibles a sus iones y estan constituidos por un metal en una disolución de iones del mismo.

b) ELECTRODOS DE AMALGAMA.

Estos electrodos constan de una solución del metal en mercurio y presentan características - tales como potenciales medibles, el equilibrio se establece más rápidamente que cuando se uti-

lizan los metales puros, mejores condiciones de reversibilidad y ayuda a determinar potenciales de elementos muy activos o elementos que debido a su gran reactividad como el caso de potasio, sodio y calcio, no pueden ser utilizados directamente en soluciones acuosas.

La amalgama saturada es equivalente al electrodo de un metal puro, ya que la actividad de un soluto en una solución saturada es unitaria - si la amalgama no es saturada, la actividad es diferente de la unidad y hay que tenerlo en cuenta al calcular su potencial.

c) ELECTRODO DE GAS.

Este tipo de electrodo está constituido por un gas y un metal inerte, que se introduce en una disolución de iones reversibles al proceso de oxidación o reducción del gas. A este tipo pertenece el electrodo de hidrógeno y el electrodo de cloro.

d) ELECTRODO METAL-SAL INSOLUBLE.

Son conocidos como electrodos de segunda cla-

se y estan integrados por un metal en contacto - con una sal de metal; a este tipo pertenecen una amplia variedad de electrodos como por ejemplo:

Calomel ó calomelanos, plata-cloruro de plata, plomo-sulfato de plomo, plata-bromuro de plata. Todos ellos son reversibles al anion común. Son utilizados como electrodos de referencia secundarios para determinar potenciales de electrodos.

e) ELECTRODO DE METAL-OXIDO INSOLUBLE.

Son similares a los electrodos metal-sal insoluble; en estos la sal insoluble es reemplazada por un óxido. A este tipo pertenece el electrodo de trióxido de antimonio.

6- TERMODINAMICA DE LOS POTENCIALES DE ELECTRODOS.

A- POTENCIAL NORMAL DE ELECTRODOS.

La f.e.m., en una celda galvánica es una propiedad aditiva de los potenciales simples de electrodos. Para determinar el valor del potencial de un electrodo, es necesario construir una celda en la cual a uno de los electrodos se le asigne un potencial arbitrario de cero. Este electrodo, es el comúnmente llamado electrodo de hidrógeno, que viene a ser casi un modelo, ya que las condiciones o características propias del mismo son muy estrictas y en la práctica casi imposible de realizar. El signo de este potencial, depende de que actúe como cátodo o ánodo en la celda galvánica antes mencionada.

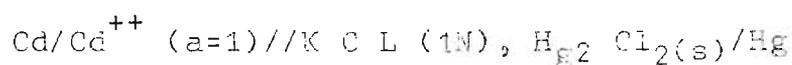
B- CALCULO DE POTENCIAL DE ELECTRODO.

Por lo general para medir potenciales de electrodo simple, se utilizan electrodos de referencia secundarios. El voltaje generado por la celda se determina por método potenciométrico.

C- DETERMINACION DE POTENCIAL DE ELECTRODO EN UNA CELDA QUIMICA CON TRANSFERENCIAS.

Para medir el potencial de electrodo en este tipo de celda, es necesario eliminar el potencial de unión líquido, utilizando un puente salino. Una celda así estructurada y utilizando un electrodo de referencia secundario, permite, hacer una evaluación rápida de un potencial de electrodo.

Un ejemplo de esta celda es la siguiente:



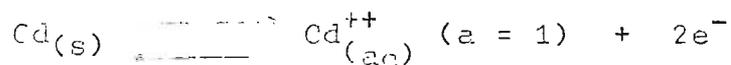
en ella, uno de los electrodos es de referencia secundario (calomel) y el electrodo de cadmio es el potencial a determinar. El potencial de la celda a 25°C (ξ°) tiene un valor de 0.6830 voltios y la f.e.m. a 25°C del electrodo de calomel tiene un valor de + 0.2800 voltios. Entonces el potencial de cadmio se calcula con la ecuación siguiente:

$$\xi^\circ = \xi_{\text{cd}} + \xi^\circ\text{C}$$

$$0.6830 \text{ volt.} = \xi_{\text{cd}} + 0.2800 \text{ volt.}$$

$$\xi_{\text{cd}} = 0.4030 \text{ voltios}$$

El electrodo de cadmio es negativo; y es el que efectúa la oxidación.



En el de calomel se lleva a cabo la reducción:



El potencial que genera la celda determina el potencial del elemento desconocido:

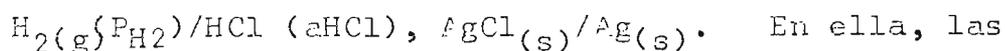


D- DETERMINACION DE POTENCIAL DE ELECTRODO EN UNA CELDA QUIMICA SIN TRANSPERENCIA.

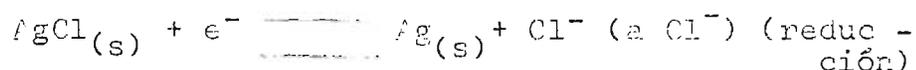
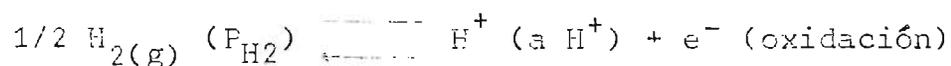
En esta celda, se elimina por completo el potencial de unión líquida.

Su funcionamiento como celda química se debe a que ambos electrodos, son reversibles al catión y al anion del electrólito.

Un ejemplo de esta celda es:



reacciones a nivel de electrodos generan el catión y anion, incorporándose estos al electrólito inicialmente presente.



Si la celda permite el paso de corriente; el proceso señalado se invierte y los iones H^+ presentes en la solución serán reducidos a hidrógeno gaseoso. Plata sólida será oxidada regenerando el $ClAg$ sólida con los iones cloros presentes en la solución.

E- CALCULO DE f.e.m. POR METODO POTENCIOMETRICO.

En la práctica para medir f.e.m. de celdas, se utiliza el método potenciométrico, que consiste en el principio de compensación de Poggendorff. (Ver Fig. 7, página No. 33). Dicho método consiste en igualar la f.e.m. de una celda desconocida con la f.e.m. de referencia, integrada a un circuito, que contiene un galvanómetro y una resistencia variable.

Un esquema así estructurado se llama circuito potenciométrico.

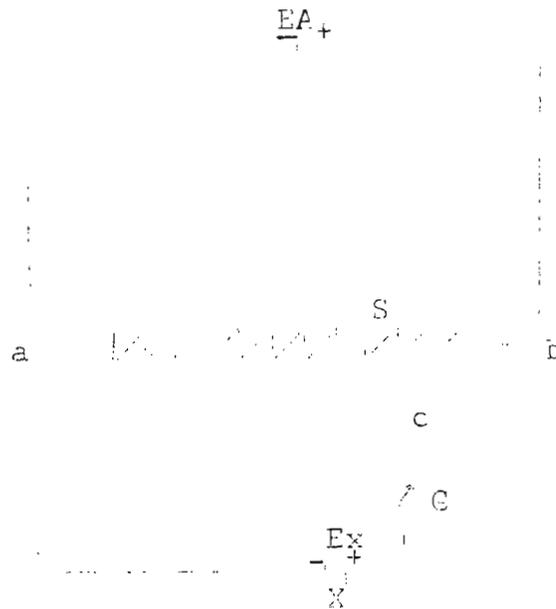


Fig. 7 METODO POGGENDORFF PARA MEDIR f.e.m.

E_x = f.e.m. de celda desconocida

E_A = f.e.m. de celda conocida (referencia)

ab = Resistencia variable

C = Contactor

G = Galvanómetro

Observando la Fig. 7, para encontrar el balance o punto de equilibrio entre la f.e.m. de referencia

y la f.e.m. desconocida, se corre el contactor a través de la resistencia variable y cuando el galvanómetro ya no detecta paso apreciable de corriente, se hace la lectura de resistencia y se utiliza la siguiente fórmula; para calcular la f.e.m. desconocida:

$$\frac{E_x}{E_f} = \frac{a_s}{a_b}$$

F- TRABAJO ELECTRICO DE UNA CELDA ELECTROQUIMICA.

Para una reacción a T y P constante, el decremento de energía libre es igual al trabajo neto reversible, que puede producir el sistema y que sea distinto del trabajo de expansión, está representado por la siguiente ecuación:

$$\Delta F(T, P) = -W_{\text{net, rev.}}$$

El valor de energía libre es independiente del camino, entonces para una reacción reversible, el cambio de energía libre está dado por la ecuación:

$$\Delta F = \Delta E + P\Delta V - T\Delta S + V\Delta P$$

cuando el proceso es a P constante:

$$\Delta F = \Delta E + P\Delta V - T\Delta S$$

Para una reacción que produce un trabajo de expansión (PV) y además un trabajo neto (Wnet), el cambio de energía interna (ΔE), queda definido por la siguiente expresión:

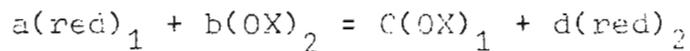
$$\Delta E = Q_{\text{rev.}} - P\Delta V - W_{\text{net. rev.}}$$

Sustituyendo: $\Delta F = Q_{\text{rev.}} - P\Delta V - W_{\text{net. rev.}} + P\Delta V - T\Delta S$

$$\Delta F = T\Delta S - T\Delta S - W_{\text{net. rev.}}$$

$$\Delta F = -W_{\text{net. rev.}}$$

Si la reacción que se efectúa en la celda electroquímica es:



El trabajo eléctrico producido por la reacción, proporciona cierta cantidad de electricidad por cada equivalente n que reacciona. La cantidad de corriente que circula es n Faraday y el trabajo eléctrico neto realizado por la celda, es el producto de n Faraday por la fuerza electromotriz:

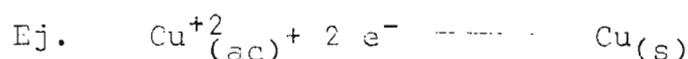
$$W_{\text{net. rev.}} = n F\xi$$

$$\Delta F = -n F\xi$$

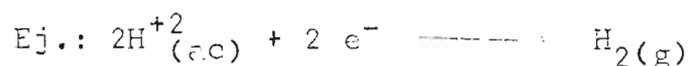
7- REACCIONES ELECTRODICAS Y MECANISMO.

Las clases de reacciones que se pueden presentar en la interfase metal-electrólito son:

a) De posición de metales



b) Desprendimiento de gases



c) Precipitación de sales insolubles



d) Reacciones complejas de oxidación-reducción.

El mecanismo de esta clase de reacciones consiste en una serie de etapas en las cuales una de ellas es, necesariamente, una reacción de transferencia de carga, o sea una reacción en la que la especie cargada, ion o electrón es transportado desde el electrólito al metal o del metal al electrólito.

Dentro de las etapas del mecanismo de reacción en electrodos se pueden considerar los siguientes:

- a) Transporte de reactivos desde la interfase o has
ta la interfase.
- b) Reacciones en las que se presenta una transfe -
rencia de carga a través de la interfase.
- c) Reacciones químicas que pueden ser anteriores o
posteriores a las reacciones de transferencia de
carga. Pueden darse en el seno del electrólito
o en la interfase.
- d) Reacciones de nucleación o crecimiento cristali
no o reacción de: formación de fase.

De las etapas consideradas, la etapa "b" impres
cindible; ya que constituye la base de las reaccio
nes de electrodo.

La existencia de una diferencia de potencial -
puede afectar la etapa "b". Las etapas restantes
pueden darse o inhibirse dependiendo de la natura
leza de la región.

Cada etapa del mecanismo de reacción de electro
dos, de origen a una sobretensión determinada, pa

ra que puedan verificarse.

Así se tiene que: (a) el transporte de reactivos origina la sobretensión de difusión (n_d), (b) la transferencia de carga origina la sobretensión de transferencia (n_t), (c) la reacción química origina la sobretensión de reacción (n_r), (d) la cristalización origina la sobretensión de cristalización (n_c). Estas cuatro clases de sobretensión integran la sobretensión total (n_T) del proceso electroquímico.

$$n_T = n_t + n_d + n_r + n_c$$

TRANSPORTE DE MATERIA.

El transporte de materia desde el electrodo o hacia él puede ocurrir por difusión, migración o convección. En cada uno de ellos ocurre un mecanismo específico para el transporte de materia. El transporte de materia por convección se debe al movimiento del fluido por cualquier causa externa, se presume que no influye en el paso de corriente, ya que el principio de electroneutralidad, no permite un desbalance de las partículas cargadas en la solución.

electrolítica.

El transporte de materia por migración es causado por el movimiento de aniones y cationes dentro de la celda electrolítica y es proporcional al número de transporte de aniones o cationes presentes en la solución.

El transporte de materia por difusión se presenta cuando existe un gradiente de concentración entre las proximidades de la superficie de los electrodos, originando un "desequilibrio entre ellos, - este es compensado por el transporte de materia.

CAPITULO II

1- ACUMULADORES.

Acumulador. Es toda celda galvánica, que trabaja casi reversiblemente y es un depósito de energía química regenerable, que permite disponer de ella cuando se necesite; dicha energía no es otra cosa que la energía libre del proceso electroquímico desarrollado dentro de las celdas por efectos del paso de corriente eléctrica; o sea cuando el dispositivo es sometido a un proceso de electrólisis.

La estructura de un acumulador la integran los elementos siguientes:

- a) Placas positivas y negativas
- b) Separadores
- c) Solución electrolítica

a) Placas Positivas y Negativas. Es la parte más importante de un acumulador, debido a que se lleva a cabo entre ellos una diferencia de potencial que va a depender de las características siguientes:

a-1) Material Activo

a-2) Área y Espesor

a-3) Porosidad

a-1) Material Activo. Es la parte más importante de las placas; es donde se lleva a cabo la reacción de oxidación-reducción, por paso de corriente eléctrica a través del acumulador.

a-2) Área y Espesor. Estos dan el tamaño de placa; que va a depender de las formas que se fabriquen; éstas pueden ser esféricas, rectangulares y cilíndricas.

a-3) Porosidad. La porosidad en las placas es la cantidad de poros que poseen éstas y sirven para proveer un mayor contacto entre la placa y la solución electrolítica.

b) Separadores. Son de materiales inertes resistentes al ataque químico de la solución electrolítica y tienen como función principal, prevenir el contacto físico de las placas de polaridad opuesta.

c) Solución Electrolítica. Es el medio de transporte de cargas de polaridad opuesta y pueden ser - soluciones fuertemente ácidas o básicas.

Para construir un acumulador se arman por separado las placas positivas y negativas, sostenidas - por un poste que las une en serie; se intercalan - distanciadas por su separador.

ACTIVACION DE ACUMULADOR.

La activación de un acumulador, sucede cuando la materia activa sufre un cambio en su estado de oxidación, debido al paso de cierta cantidad de corriente eléctrica a través de él, para producir las reacciones a nivel de electrodos. Se necesitará un incremento de tensión eléctrica, que sea suficientemente significativo, para superar la f.e.m., del acumulador y así originar las reacciones de electrólisis.

A- CONTROL EN LA CARGA-DESCARGA DEL ACUMULADOR.

Los acumuladores en su descarga actúan de manera

similar a las pilas primarias.

El comportamiento de estos acumuladores depende en la práctica, de la manera como se carga o descarga; si estos procesos se llevan a cabo con amperajes altos implican un rápido deterioro del sistema y en consecuencia una corta vida para el acumulador. Si esto sucede en la carga, esta sería superficial; lo más conveniente es una intensidad máxima del diez por ciento de su capacidad en la carga y a una intensidad del cinco por ciento de su capacidad en descarga, evitando con esto un exceso de calentamiento en el acumulador y con ello el deterioro del mismo.

Si el acumulador se somete a una descarga rápida, la carga decae rápidamente.

B- PARAMETROS QUE INFLUYEN EN LA CAPACIDAD DE UN ACUMULADOR.

- a) Temperatura de operación
- b) Voltaje de corte
- c) Velocidad de carga y descarga

d) Calidad del electrólito

a) Temperatura de Operación: Es un factor muy importante en el funcionamiento de los acumuladores; - por lo cual se les asigna una temperatura de trabajo por ciclo. Los de plomo y ácido sulfúrico se trabajan a 80°F (26.7°C); para los alcalinos - se recomienda una temperatura no mayor de 113°F - (45°C).

b) Voltaje de Corte: Es el mínimo que alcanza un a - cumulador en su descarga. Si se descarga más - alla de éste voltaje; suceden reacciones secundarias que dañan la capacidad del acumulador.

c) Velocidad de Carga y Descarga: Su influencia en - la capacidad de un acumulador, se debe a que las reacciones en los electrodos deben efectuarse a - velocidades moderadas.

d) Calidad del Electrólito: Los efectos de la cali - dad del electrólito, en la capacidad del acumula - dor, son determinantes en las reacciones del electr - olito.

trodo, pués la presencia de contaminantes puede -
inhibirlas.

C- METODOS PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE UN ACUMULA-
DOR.

Para determinar la capacidad de un acumulador, ex
isten dos métodos:

a) Método de Lectura Directa

b) Método de Coulombimétrico

a) Método de Lectura Directa.

Consiste en medir el tiempo que se tarda en desg
cargarse el acumulador y mantener constante un var
lor de corriente. El producto de estos dá direct
tamente la capacidad coulombica del acumulador en
amperios-hora.

b) Método Coulombimétrico.

El método Coulombimétrico, consiste en el uso -
de un coulombímetro para calcular la corriente ext
traída en procesos de carga-descarga del acumulad
dor, aplicando las leyes de Faraday al material -

electroquímico depositado en el cátodo. El coulombímetro más utilizado es de cobre, que consta de dos láminas de cobre sumergidas en una solución de sulfato de cobre, ácido sulfúrico y una porción de alcohol etílico.

De los métodos anteriores, el más exacto es el coulombimétrico; debido a que la capacidad, es una medida de las reacciones electroquímicas que ocurren dentro de la celda.

El método de lectura directa no es una medida de reacción electroquímica; sino que se utiliza como un control de capacidad a nivel externo.

D- ACUMULADORES ALCALINOS.

Entre los acumuladores alcalinos más conocidos y de mayor uso están los de: NICKEL-HIERRO y NICKEL-CADMIO. Son semejantes en algunas características de construcción del electrodo positivo. Utilizan los mismos materiales activos para las placas positivas y solución de hidróxido de potasio como electrolito. La principal diferencia se encuentra en los materiales activos de las placas negativas.

a) Reacciones Secundarias de Descarga en Acumuladores Alcalinos.

Aquellas reacciones que se verifican en las placas positivas, después de haber alcanzado el voltaje de rodilla, son reacciones de segunda fase; ocurren a voltajes menores de 0.5 voltios que los correspondientes a la etapa anterior al voltaje de rodilla. Este efecto se ha atribuido al oxígeno absorbido por el grafito, ya que no se han observado en placas que no lo poseen.

Las reacciones que ocurren en el electrodo negativo, se ha demostrado que no afectan la capacidad de la batería.

b) Ventajas de los Acumuladores Alcalinos sobre los de Plomo-Acido.

Entre las ventajas de acumuladores alcalinos están:

La gran resistencia mecánica del conjunto, no se producen sulfataciones, resisten grandes corrientes (incluso cortocircuitos), no tienen descarga propia ó sea autodescarga, no sufren daños

por bajas temperaturas; debido a su bajo punto de congelación, tienen un régimen de capacidad mayor que los de plomo-ácido. De estos acumuladores alcalinos existen muy diversos tipos, en lo que a capacidad se refiere. 1/

F- ACUMULADOR NICKEL-CADMIO.

a) Descripción General.

El uso generalizado de estos, se inicia después de la segunda guerra mundial y son utilizados en instrumentos eléctricos portátiles y en aplicaciones especiales; por su gran resistencia y durabilidad.

El primer acumulador estaba constituido por un electrodo positivo con un alto porcentaje de óxido de Nickel, como material activo y el electrodo negativo era de Cadmio. Además de estos existen otros compuestos para la construcción de electrodos de la celda Nickel-Cadmio, de los cuales los -

1/ Villareal, D. Enrique, "Fuentes Electroquímicas de Corriente, Teoría Práctica", Edit. Limusa, México, 1971.

más comúnmente utilizados son: para electrodo positivo es el de hidróxido de nickel e hidróxido de cadmio para el electrodo negativo.

En la década de los años 70-80, se realizaron estudios científicos sobre celda Nickel-Cadmio.

Se comprobó que en estos acumuladores en carga y descarga el potencial es independiente de la concentración del electrólito y que no se producen cambios significativos en la composición del mismo; por qué es poco probable la pérdida del electrólito por electrólisis. 2/

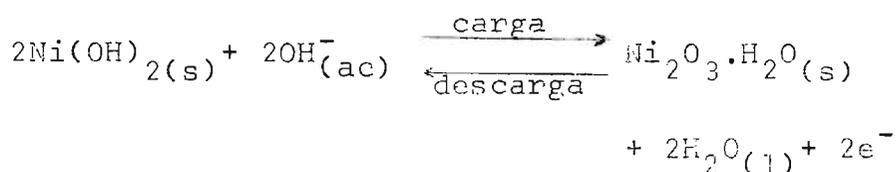
b) Electrodos del Acumulador Nickel-Cadmio.

b-1) Electrodo de Nickel.

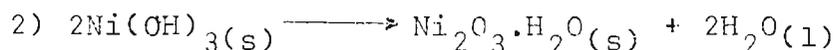
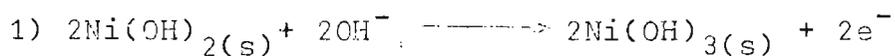
Sobre este electrodo, se han hecho extensas investigaciones y no se ha llegado a ningún conocimiento satisfactorio en su comportamiento.

2/ Delahay Tobías, "Advances in Electrochemistry and Electrochemical Engineering". Vol. 5 Printed in the United States of American.

Una posible reacción para este electrodo en el proceso de carga y descarga es la siguiente:



Es posible que el mecanismo se dé en dos etapas:



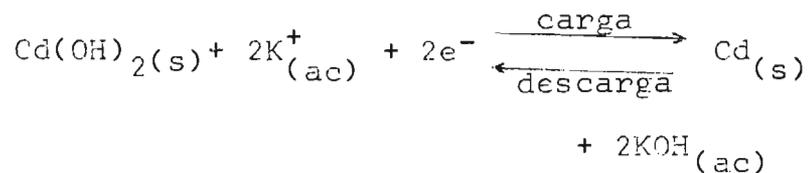
La estequiometría de la reacción de carga y descarga, es en sí determinada por la composición de los óxidos. Estos compuestos se han estudiado extensamente.

La síntesis, de ellos se ha llevado a cabo por métodos químicos y electroquímicos reportándose únicamente la existencia de óxidos inestables, como los siguientes:

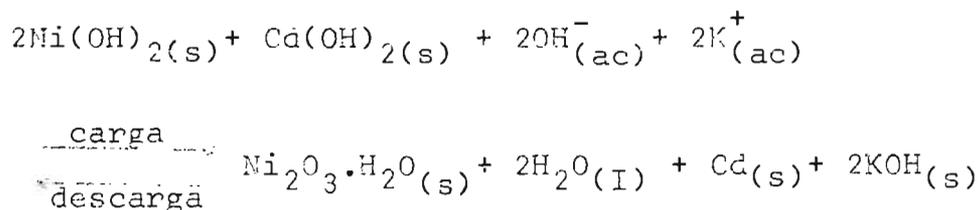
Ni_2O_3 , Ni_3O_4 y $\text{Ni}(\text{OH})_3$; el más estable de ellos es: Ni_2O_3 .

b-2) El Electrodo de Cadmio.

Este electrodo es la parte negativa del sistema Nickel-Cadmio, su comportamiento como parte integral del acumulador no se conoce con exactitud; hasta el momento no se han podido determinar las verdaderas reacciones que se llevan a cabo dentro de la celda; pero se cree posible la siguiente reacción:

c) Reacción Total del Acumulador.

No se conoce con exactitud la reacción total de la celda, una posible reacción es:



En esta reacción total de la celda, la partici

pación de los iones oxhidrilos que aporta el agua por medio de electrólisis, es de gran importancia; se cree que son los determinantes de la reversibilidad de los materiales activos del acumulador.

El potencial de esta celda, es independiente de la concentración del electrólito; pero el potencial de cada electrodo si depende de la actividad del ión oxhidrilo.

El voltaje en circuito abierto es de 1.32 voltios y a velocidad normal de descarga es 1.2 voltios.

En la práctica, el voltaje de la celda en circuito abierto, indica ligera dependencia de la concentración, pues los óxidos son hidratados y el transporte de moléculas de agua participan en la reacción de el acumulador. 4/

4/ Delahay Tobías, "Advances in Electrochemistry and Electrochemical Engineering", Vol. 5, SJ Printed in the United States of American. 1967.

d) Estructuras de Electrodo del Acumulador Nickel-Cadmio.

Los tipos de electrodos conocidos son:

- a) Granulados
- b) Planares
- c) De cavidad cilíndrica

a) Electrodos Granulados.

Consisten en material activo comprimido, - siendo usualmente el electrodo negativo óxido de cadmio y el electrodo positivo nickel, mezclado con grafito.

b) Los Electrodo Planares.

Son de fabricación simple, donde el electrodo negativo es cadmio en forma de lámina o varilla y el electrodo positivo está formado - por láminas muy delgadas de óxido de nickel.

c) Electrodo de Cavidad Cilíndrica.

El electrodo positivo puede ser construido con: acero, aleaciones de nickel-acero platina

de o nickel hierro grafito.

Para el electrodo negativo, se utiliza una aleación de Cadmio-Acero grafito, el interior se le rellena con material de cadmio finamente dividido.

e) Polarización de los Electrodos. 5/

El fenómeno de polarización en los electrodos es producido por concentración y sobrevoltaje.

El fenómeno de concentración, es el que se describe en esta parte; ya que el de sobrevoltaje fué descrito anteriormente.

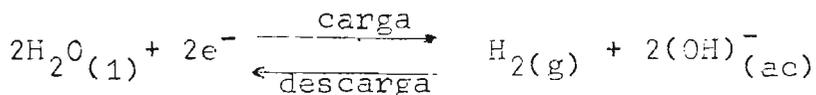
La polarización es provocada por cambios en la concentración del electrólito alrededor de los electrodos durante la electrólisis del agua; donde se pueden formar celdas que desarrollan una f.e.m. opuesta a la aplicada, durante la carga del acumulador. Esta polarización

5/ Maron y Prutton, "Fundamentos de Fisicoquímica", - México, 1977. pág. 714-729.

zación comienza cuando en la carga del acumulador, la f.e.m. aplicada es de 0.83 voltios que es el potencial de electrólisis del agua y a 1.67 voltios, que es la electrólisis de la solución de hidróxido de potasio.

Se ha comprobado experimentalmente, que un potencial menos de 1.7 voltios aplicado al acumulador hace que haya interrupción momentánea de corriente, debido a que se generan pequeñas cantidades de hidrógeno en el electrodo negativo y de oxígeno en el positivo. Las posibles reacciones secundarias que generan estos gases son las siguientes:

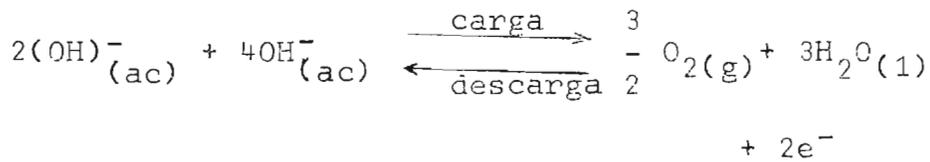
En el electrodo negativo se da el siguiente proceso:



En la reacción de carga se observa que el agua de hidratación del electrólito reacciona con el material activo de $\text{Cd}(\text{OH})_2(\text{s})$, produciendo hidrógeno gaseoso y iones hidróxilos en estados acuo-

sos. Durante la descarga las moléculas de hidrógeno reaccionan con las de hidróxilos para formar de nuevo moléculas de agua.

En el electrodo positivo el siguiente:



Los iones hidróxilos formados durante la carga en el electrodo negativo, llegan a reaccionar con el material activo de hidróxido de nickel, produciendo oxígeno gaseoso y agua líquida. Parte de éste oxígeno producido por la reacción de los hidróxilos se depositan en el hueco dejado por los hidroxilos del material activo positivo y el resto se pierde.

f- Solución Electrolítica.

La solución electrolítica utilizada en el acumulador nickel-cadmio es una solución de hidróxido de potasio de 21 % con una densidad de 1.17 gr/cm³. En una solución de este tipo existe el ión potasio fuertemente hidratado y posiblemente

un equilibrio dinámico entre el agua de hidratación y el agua del disolvente.

Este equilibrio es posible que no se de instantáneamente, ya que involucra un proceso de velocidad que depende de la estructura electrónica del catión.

Hidróxido de litio pueden ser agregados al electrólito, cuando se desean llevar a cabo pruebas electrolíticas largas y empíricas, ya que tiende a mejorar la operación del acumulador. Estos efectos parecen ser ejercidos a través de interacciones electroquímicas con el material de electrodo que da modificación a las propiedades del electrólito.

Un aspecto importante de mencionar, es la solubilidad de los componentes para el sistema nickel-cadmio en soluciones de hidróxido de potasio. Se conoce que los óxidos de nickel en todos sus estados de oxidación no son solubles en soluciones de hidróxido de potasio no así en el caso de cadmio, cuyos hidróxidos tienen una solubilidad apreciable, debido a la formación de hi-

dróxidos complejos. 6/

6/ Ladner Wentworth, "Fundamentos de Química-Física",
Edit. Reverté, S. A., 1975. Pág. 228-230.

CAPITULO III

PARTE EXPERIMENTAL.

Se trabajó con un acumulador alcalino de Nickel-Cadmio, compuesto por tres celdas, para determinar su eficiencia y capacidad coulombica; fué necesario medir parámetros como: fuerza electromotriz, densidad, material electroquímico depositado y temperatura.

Estas medidas se realizaron: a intervalos de una hora, temperaturas constantes de 25°C, 35°C y 40°C, presión normal de laboratorio y corriente constante de dos amperios.

A- MATERIAL Y EQUIPO UTILIZADO.

- Termómetro Beckman
- Balanza Analítica (Mettler, modelo H-20-T)
- Cargador de Bateria (Fox, de 0-6 amperios)
- Amperímetro (D. C. Weston-3 escalas)
- Voltímetro V. O. M. (Simpson 260 serie C)
- Reóstato (Capacidad 10 amperios)
- Interruptor de doble paso

- Acumulador Ni-Cd de 3 celdas, Varta, TP-10, 30701
(Figura No. 8)
- Baño de temperatura constante (W. H. Thomas)
- Picnómetro (de 10 mililitros)
- pH metro Coleman, Modelo 80
- Buretas de 10 y 25 mililitros
- Coulombímetro de cobre

B- METODOLOGIA.

La fuerza electromotriz se determinó con un voltímetro V. O. M. Simpson: con los valores obtenidos en el proceso de carga y descarga, se hicieron los gráficos para conocer su comportamiento en ambos casos con respecto al tiempo y su variación a diferentes temperaturas. (Ver gráficos No. 1 y 2, páginas 68 y 69 respectivamente).

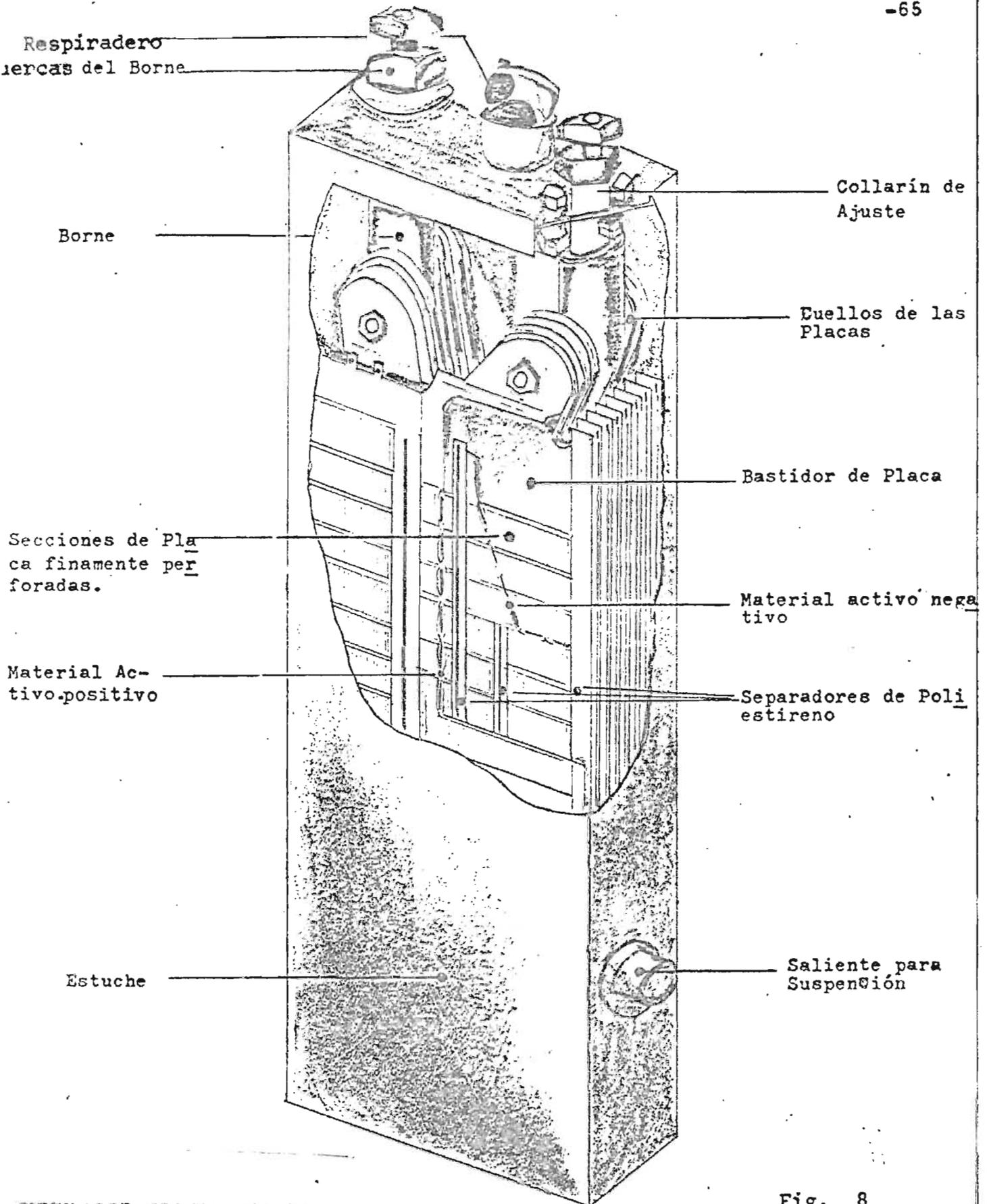
Los valores de densidad se obtuvieron utilizando un picnómetro de 10 ml y balanza analítica. Con los datos obtenidos se hizo un gráfico, para estudiar el comportamiento de los mismos con respecto al tiempo de carga y descarga, a temperatura constante de 25°C. (Ver gráfico No. 3, página 70).

El material electroquímico depositado, se obtuvo pesando el electrodo del coulombímetro de cobre, en una balanza analítica. Con los valores obtenidos, se determinó; la energía suministrada en carga y la extraída en descarga (Capacidad Coulombica), la relación de descarga-carga, dá la eficiencia del acumulador.

Las temperaturas se midieron en el interior del a acumulador, usando un termómetro Beckman. Los valores de éstas sirvieron para conocer la variación de la eficiencia.

Para el proceso de carga en el acumulador, se procedió a llenarlo, con una solución de hidróxido de - potasio. Un día después, se procedió a suministrar energía (carga) por medio de una fuente de corriente externa, hasta un voltaje constante con respecto al tiempo; para esto se utilizó el circuito de la figura No. 9, página 66.

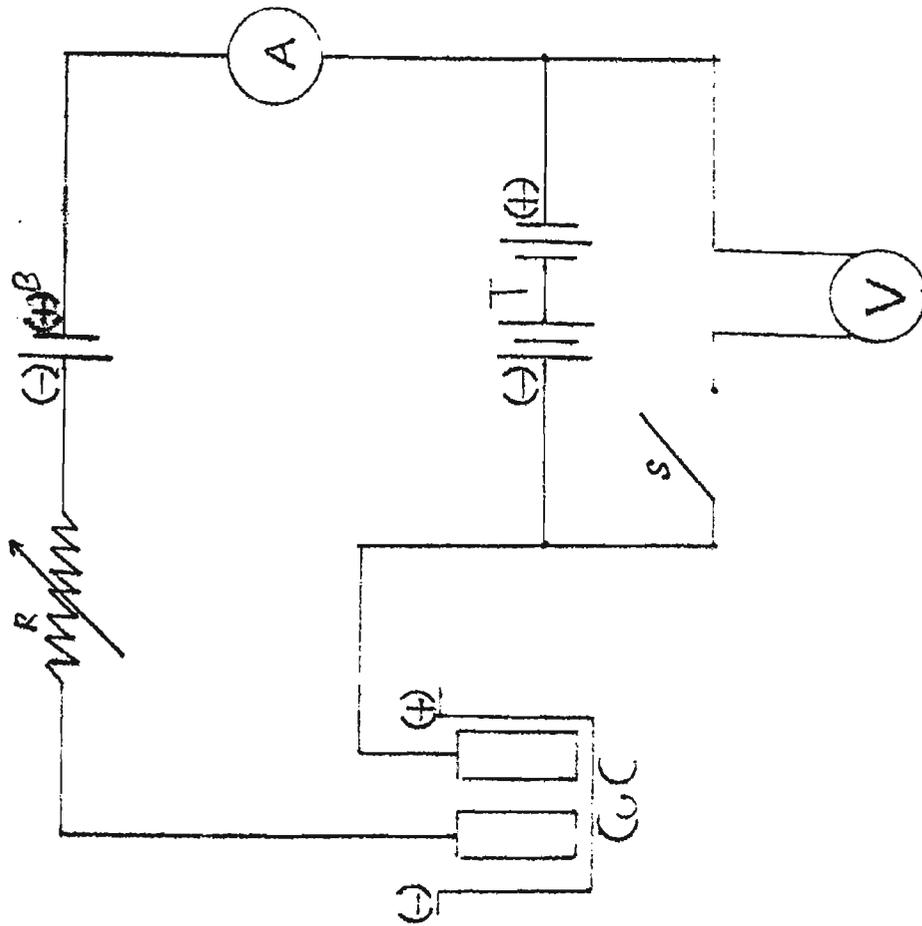
En el proceso de descarga, el acumulador funcionoó como una fuente de corriente y su energía útil - se disipó, hasta alcanzar el voltaje de rodilla, para ello se utilizó el circuito de la figura No. 10, página 67.



CUMULADOR NICKEL-CADMIO

Fig. 8

CIRCUITO DE CARGA.



B- Cargador de Bateria de 12 a 14 voltios.

R- Resistencia Variable.

CuC- Coulombimetro de cobre.

V- Voltimetro de 0-300 voltios (con resistencia interna de 100 ohmios, graduado en 0.01 voltios)

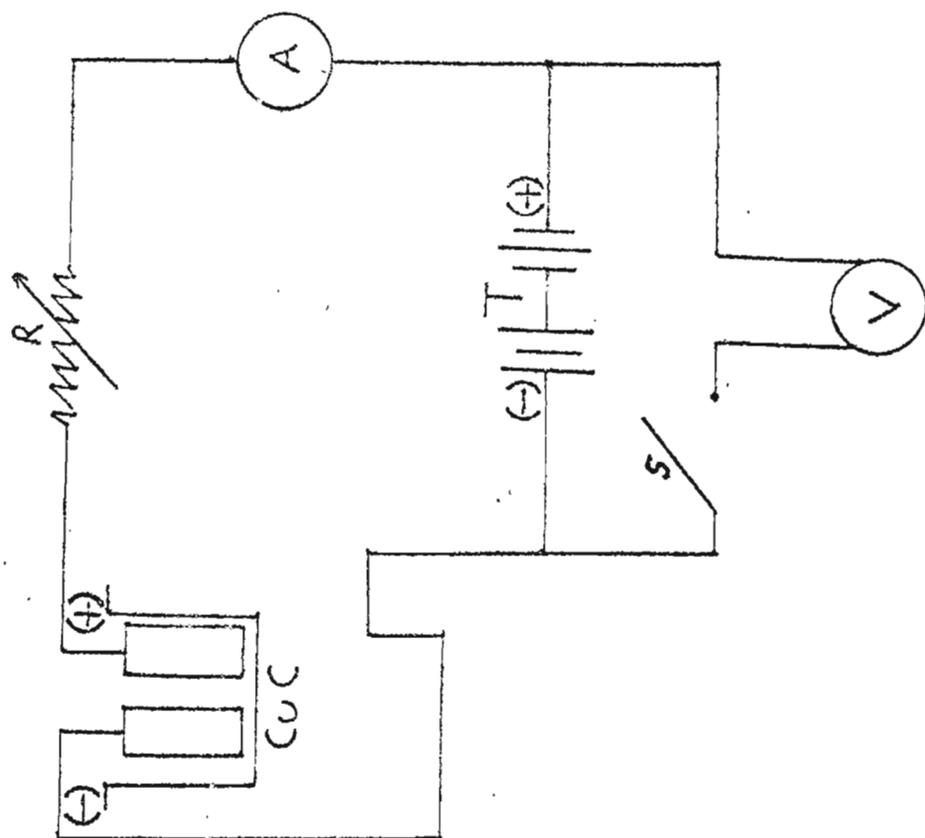
A- Amperímetro de 1-5 amperios (3 esc)

T- Acumulador de Nickel.-Cadmio.

S- Interruptor de doble paso

Figura No. 9

CIRCUITO DE DESCARGA.



R- Resistencia Variable.

CuC- Coulombímetro de cobre.

V- Voltímetro de 0-300 voltios
(con resistencia interna de
100 ohmios graduado en 0.01
voltios).

A- Amperímetro de 1-5 amperios
(3 escalas).

T- Acumulador de Nickel-Cadmio.

S- Interruptor de doble paso.

Figura No. 10

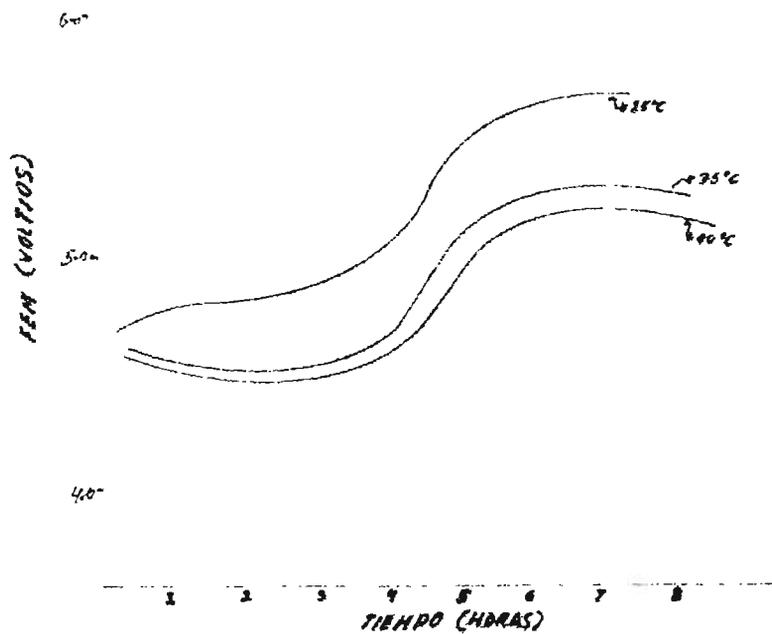
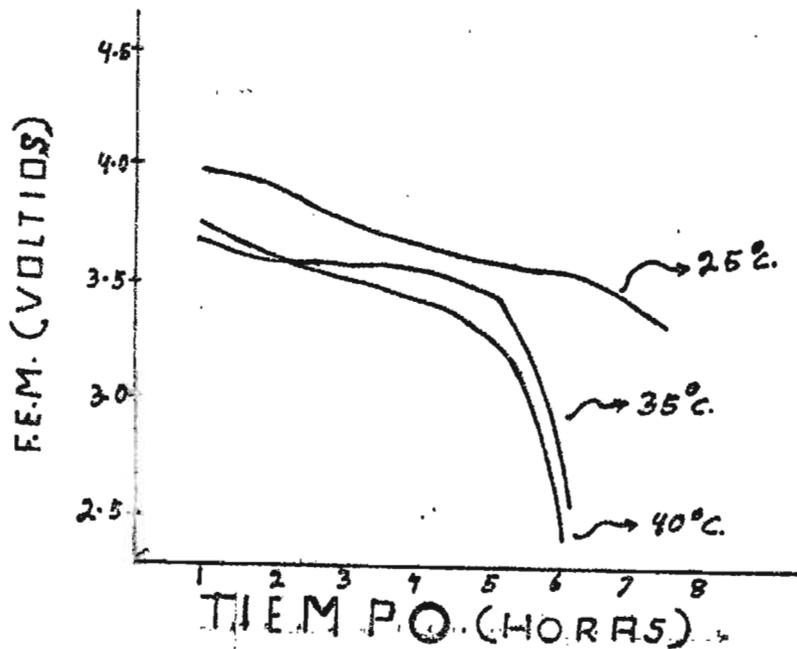


GRAFICO N° 1
CARGA DE ACUMULADOR
DE 3 CELDAS Ni-Cd

Cuadro No. 1

CARGAS EN ACUMULADOR DE TRES CELDAS
Ni - Cd

Tiempo (Horas)	f. e. m. (Volts)		
	25 ± 0.5°C	35 ± 0.5°C	40 ± 0.5°C
1	4.75	4.60	4.55
2	4.81	4.60	4.56
3	4.35	4.62	4.57
4	4.70	4.65	4.60
5	5.58	5.20	5.10
6	5.60	5.20	5.20
7	-	5.30	5.22



TIEMPO (HORAS) →
 GRAFICO No 2
 DESCARGA EN
 ACUMULADOR Ni-Cd

CUADRO No 2
 DESCARGAS EN
 ACUMULADOR Ni-Cd

TIEMPO (HORAS)	f.e.m. (VOLTIOS)		
	25±0.8	35±0.8	40±0.8
1	3.98	3.65	3.68
2	3.85	3.60	3.60
3	3.62	3.60	3.58
4	3.55	3.60	3.42
5	3.50	3.40	3.40
6	3.50	2.50	2.10
7	3.42	—	—

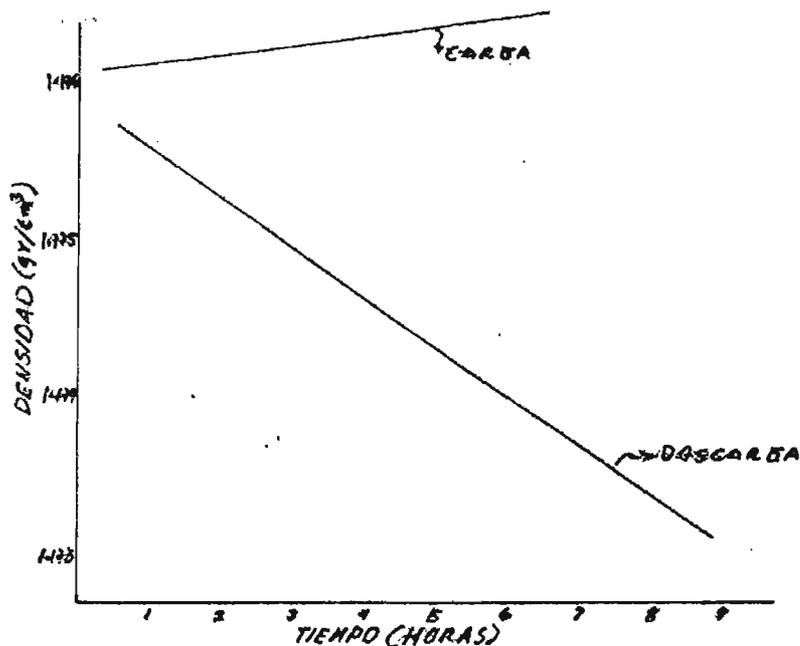


GRAFICO N°3
DENSIDAD-TIEMPO A TEMPERATURA
CONSTANTE 25°C.

C U A D R O N°3

Tiempo (Horas)	Densidad en Carga (g/cm ³)	Densidad en Descarga (g/cm ³)
1	1.1761	1.1756
2	1.1761	1.1753
3	1.1762	1.1749
4	1.1763	1.1749
5	1.1763	1.1746
6	1.1764	1.1739
7	--	1.1737
8	--	1.1733
9	--	1.1730

* Densidad corregida, método de "mínimos cuadrados".

RESULTADOS OBTENIDOS .

Cuadro No. 4

DENSIDAD PROMEDIO, EN EL ACUMULADOR Ni-Cd.

Temperatura (°C)	Densidad (gm/cm ³)
25 \pm 0.8	1.1744
35 \pm 0.8	1.1765
40 \pm 0.8	1.1858

Cuadro No. 5

CORRIENTE SUMINISTRADA EN ACUMULADOR DE TRES CELDAS

Ni-Cd

<u>Temperatura</u> °C	<u>Corriente Suministrada</u> AMP-Horas
25 \pm 0.8	12.600
35 \pm 0.8	14.742
40 \pm 0.8	15.566

Cuadro No. 6

CAPACIDAD COULOMBICA EN ACUMULADOR Ni-Cd

<u>Temperatura</u>	<u>Capacidad Coulombica</u>
°C	AMP-Horas
25 \pm 0.8	8.097
35 \pm 0.8	8.114
40 \pm 0.8	8.3801

Cuadro No. 7

EFICIENCIA PORCENTUAL EN ACUMULADOR DE 3 CELDAS Ni-Cd

<u>Temperatura °C</u>	<u>Eficiencia (%)</u>
25 \pm 0.8	64.26
35 \pm 0.8	55.04
40 \pm 0.8	53.84

C- OBSERVACIONES.

1) CURVAS DE CARGA.

Las f.e.m. en carga del acumulador y su comportamiento estan representadas en la página No. 68..

Se observa que los valores iniciales y finales de las f.e.m. a tres diferentes temperaturas, va rían en el orden de las décimas de voltio.

Los valores de f.e.m. a 25°C, 35°C y 40°C, se incrementan a medida que transcurre el tiempo de carga, cuando el proceso se lleva a cabo a tempe ratura constante. Se visualiza que los voltajes iniciales y finales son mayores para el proceso a 25°C, que a 35°C y 40°C.

2) CURVAS DE DESCARGA.

Las f.e.m. en descarga del acumulador y su comportamiento están representadas en página 69.

Se observa que los valores iniciales y finales de las f.e.m. a tres temperaturas diferentes,

difieren en el orden de las décimas de voltio.

Los valores de f.e.m. a 25°C, 35°C y 40°C, decrecen a medida que transcurre el tiempo de descarga, cuando el proceso se lleva a cabo a temperatura constante. Sus voltajes iniciales y finales son mayores a 25°C, que a 35°C y este a su vez que la de 40°C.

El gráfico se observa que a 25°C; presenta su voltaje de rodilla entre 5 horas con un valor de 3.5 voltios; a 35°C y 40°C, lo presentan entre (3-4) horas con valores de 3.60 voltios y 3.42 - voltios, respectivamente.

3) DENSIDAD DE SOLUCION ELECTROLITICA.

Las densidades en carga y descarga del acumulador se tomaron para tres diferentes temperaturas; pero se presenta solamente una tabla de densidades para carga-descarga a 25°C, porque se observó que el comportamiento gráfico era similar para 25°C, 35°C y 40°C; también se presenta una tabla de densidad promedio por ciclo (carga-descarga), para cada una de las temperaturas señaladas.

a) Medidas de Densidad en Proceso de Carga.

Los valores de densidad en el proceso de carga y su comportamiento se presenta en la Pág. 70.

Se observa que los valores iniciales y finales, difieren en el orden de las diez milésimas - incrementandose a medida que transcurre el tiempo de carga, a temperatura constante de 25°C.

La pendiente indica el mínimo incremento de la densidad a medida que transcurre el tiempo de carga.

b) Medidas de Densidad en el Proceso de Descarga.

Los valores de densidad y su comportamiento en el proceso de descarga se presentan en la página 70.

Se observa que los valores iniciales y finales difieren en el orden de las milésimas y disminuyen a medida que transcurre el tiempo de descarga a temperatura constante de 25°C.

Se observa en el gráfico que la pendiente indi

ca el mínimo decremento de densidad en descarga - del acumulador.

c) Variaciones de Densidad por Ciclo.

Los valores promedios de densidad por ciclo - (carga-descarga) del acumulador, se presentan en el Cuadro No. 4, página 71, se observa que los - valores varían en el orden de las milésimas entre 25°C a 35°C y estas con respecto a la de 40°C en las centésimas; aumentando a medida que aumenta - la temperatura.

4) CORRIENTE SUMINISTRADA.

La corriente suministrada en amperios-hora se presenta en el Cuadro No. 5, página 71. Donde se observa que:

Los valores a tres diferentes temperaturas, difieren en el orden de las unidades, presentando su menor valor a 25°C y a 40°C el mayor; aumentando a medida que aumenta la temperatura.

5) CAPACIDAD COULOMBICA DEL ACUMULADOR.

Los valores de capacidad se presentan en el Cuadro No. 6, página 72 **se observa** que los valores difieren en el orden de las décimas de amperios-hora, para tres diferentes temperaturas; presentando su mayor valor a 40°C y su menor valor a 25°C.

6) EFICIENCIA O EFICACIA. 6/

La eficiencia o eficacia del acumulador, se determinó a tres temperaturas diferentes, Los valores calculados se presentan en el Cuadro No. 7, página 72..

Se observa que la eficiencia presenta menor valor a temperatura de 40°C y mayor valor a 25°C; disminuyendo a medida que aumentó la temperatura.

6/ Vinal Wood, Geoerge, "Acumuladores", Editorial Diana, S. A., 1967.

D- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Las variaciones de f.e.m. en carga a 25°C, 35°C y 40°C posiblemente se debe al incremento de la resistencia interna del acumulador por efectos de aumento de la temperatura.

A temperaturas mayores de 25°C la f.e.m. del proceso de carga disminuye, esto no quiere decir que a temperaturas menores el acumulador va a tener mayor f.e.m.; sino se limita al intervalo de temperaturas estudiadas; es posible que en el proceso de carga, la temperatura pueda tener participación a la cual se realiza el proceso.

A las temperaturas de 35°C y 40°C el tiempo de carga es mayor que la de 25°C; posiblemente porque la corriente ha tenido que vencer resistencias mayores y por lo tanto mayores caídas de potencial.

En las curvas de carga del acumulador, las isoter_{mas} presentan variaciones de f.e.m. Así la isoterma a 25°C, presenta un incremento de 0.85 voltios, desde su inicio hasta el final de la carga; también la isoterma a 35°C presenta un incremento de 0.70 -

voltios de inicio a final de carga, y la isoterma a 40°C, presenta un incremento de 0.67 voltios.

Comparando los incrementos de voltaje en las isoterms, se tiene que la de 25°C con respecto a la de 35°C, difieren en 0.13 voltios y la de 35°C con la de 40°C de 0.03 voltios. Entonces tomando de referencia la de 25°C hasta 40°C; se puede decir que existe una diferencia de 0.012 voltios por cada grado de temperatura incrementado.

El voltaje de el acumulador completamente cargado, a corriente constante y en circuito abierto a 25°C, tiene un valor de 1.87 voltios por celda, cuando el electrólito tiene una densidad de 1.1744 gr/c.c.; a 35°C, 1.77 voltios por celda con una densidad de electrólito de 1.1765 gr/c.c.; a 40°C, 1.74 voltios por celda con una densidad de 1.1858 gr/c.c. del electrólito.

En síntesis en la carga del acumulador, la f.e.m. varía directamente proporcional al tiempo, a temperatura constante e inversamente proporcional a los incrementos de temperatura.

Las variaciones de las f.e.m. en descarga; se deben a que el acumulador actúa como fuente de corriente, cediendo energía o trabajo útil a los incremen-
tos de temperatura; que posiblemente aumentan la re-
sistencia interna del acumulador y las caídas de voltaje serán mayores a 35°C y 40°C, con respecto a la
de 25°C.

En las curvas de descarga, las isoterms presen-
tan variaciones de f.e.m. Así las isoterms a -
25°C, presentan un decremento de 0.46 voltios, desde
su inicio hasta el final del tiempo de descarga; la
isoterma a 35°C, presenta un decremento de 1.15 vol-
tios de inicio a final de tiempo de operación; a -
40°C, presenta un decremento de 1.5 voltios.

Tomando como referencia la isoterma de 25°C, se -
tiene que a medida que se aumenta la temperatura de
operación es descarga del acumulador, la f.e.m. de -
éste decrece aparentemente a razón de 0.075 voltios -
por cada grado de temperatura incrementado, es decir
que el verdadero valor no es ese; porque si el acumu-
lador está haciendo trabajo útil, lógicamente va a -
disminuir su energía con respecto al tiempo de des-

carga y no se debe solamente a efectos de temperatura.

En síntesis, la f.e.m. es inversamente proporcional al tiempo de descarga y temperatura del proceso.

Los voltajes de rodilla se alcanzan más rápidamente por los aumentos de temperatura, velocidad de descarga y descarga progresiva del acumulador.

Los diferentes valores de densidad en el proceso de carga a temperatura constante, posiblemente se deben a la producción de oxígeno e hidrógeno proveniente de la electrólisis del agua de hidratación del electrolito por el paso de corriente eléctrica.

Los diferentes valores de densidad en el proceso de descarga a temperatura constante posiblemente se debe a la recombinación del oxígeno e hidrógeno producidos en la carga para integrar moléculas de agua de hidratación del electrolito.

La pendiente de descarga es mayor que la de carga; esto posiblemente se debe a que cuando se termina de cargar el acumulador, presenta un valor dife-

rente que cuando se va a descargar; debido al intervalo de tiempo transcurrido entre el período de carga y descarga.

De las pequeñas variaciones de la densidad del electrólito, se puede decir que se mantiene constante, si se toman los valores de hasta las centésimas en carga a 25°C, considerando que en la mayoría de fábricas de acumuladores de este tipo, utilizan para el control de la densidad, un densitómetro, que solamente permite una medida de densidad hasta los centésimos y por lo tanto se considera constante la densidad para un ciclo de carga-descarga del acumulador a temperatura constante de 25°C. Esto viene a comprobar la teoría de que el electrólito en si no participa directamente en las reacciones que se dan a nivel de electrodos; pero si su agua de hidratación donde participan los iones hidróxilos.

De los valores de densidad por ciclo obtenidos, se puede decir que a medida que aumenta la temperatura, el valor de densidad aumenta, posiblemente se debe a la pérdida de agua de hidratación del electrólito.

Los valores de corriente suministrada en carga, son mayores a medida que se aumenta la temperatura. Posiblemente se debe a que los incrementos de temperatura aumenta la resistencia interna del acumulador y por lo tanto mayor caída de potencial; como el proceso se llevó a corriente constante, a mayor temperatura el tiempo para cargar el acumulador aumenta. En síntesis la corriente suministrada al acumulador se incrementa a medida que la temperatura del proceso de carga aumenta.

La capacidad coulombica aumenta mínimamente con los incrementos de temperatura; a tal grado que casi es constante para los distintos regímenes de temperatura en descarga del acumulador; posiblemente a la eficiente retención de corriente de los materiales activos del acumulador.

La eficiencia porcentual o eficacia de 25°C a 35°C decrece 9.22 % y de 35°C a 40°C decrece 1.2 %; entonces por cada grado de temperatura incrementado decrece la eficiencia del acumulador en 0.69 %; en donde el mayor rendimiento es a 25°C y el menor a 40°C. Así la eficiencia porcentual, varía inversa

mente proporcional con las temperaturas de trabajo.

Es importante la eficiencia en la operación de los acumuladores y depende en gran parte de la operación de carga, ordinariamente existen fenómenos secundarios de naturaleza electroquímica y factores accidentales que pueden afectarla.

El fenómeno de naturaleza electroquímica puede presentarse a nivel de autodescarga o acción local.

El fenómeno accidental puede ser originado por fuga de corriente provocada por defectos de aislamiento en el interior o exterior del acumulador.

En resumen se puede decir que las variaciones de: temperatura, densidad del electrólito, corriente suministrada, capacidad del acumulador, fuera de las condiciones normales establecidas por cada fabricante, afectan grandemente la eficacia o eficiencia del acumulador, a tal grado de terminar rápidamente el período de vida útil establecido.

Por lo anteriormente concluído, se hacen las siguientes recomendaciones:

- a) Los resultados numéricos obtenidos en cuanto a -
operaciones de carga-descarga; como los comportam
mientos evidenciados a través de las curvas obten
nidas pueden ser utilizados para el estudio más -
detallado del sistema electroquímico Nickel-Cadm
mio. Sería interesante observar y cuantificar -
estos parámetros, en condiciones más rígidas de -
temperaturas; en los procesos de carga-descarga,
permitiénd^o así, una integración de información
que puede conducir a un conocimiento más exacto
de su comportamiento.
- b) Las diferencias de eficiencia frente a los increm
mentos de temperatura, son consecuencia inmediata
de valores de resistencia cada vez mayor en el -
interior del acumulador; que pueden ser evaluados
y computados para establecer una tasa de disipac
ción energética, que permita plantear observacion
es más amplias de los orígenes de él fenómeno -
mencionado.
- c) Los datos de densidad del electrólito, en general
se consideran constantes en procesos de carga-desc
carga; pero realmente presentan variaciones del -

orden de las diez milésimas. Estas variaciones posiblemente se deben a efectos de cambios de temperatura en el electrólito o procesos químicos - en el sistema Nickel-Cadmio. Estas posibilidades pueden ser comprobadas para conocer cuál de los efectos mencionados es prioritario en el comportamiento del electrólito.

Se espera que con este trabajo se contribuya al quehacer científico del país; considerando que puede servir de guía o información a investigadores o fabricantes de acumuladores Nickel-Cadmio; también puede servir como práctica a estudiantes en materia de Electroquímica.

G L O S A R I O .

- ELECTROLITO - Sustancia que disuelta en agua o fundida es conductora de la electricidad.
- ELECTROLISIS - Es el conjunto de fenómenos, electricos y químicos que ocurren durante el paso de una corriente a través de un electrólito.
- EQUIVALENTE QUIMICO DE UN ELEMENTO - Es el cociente de su peso atómico y su valencia.
- FARADAY - Es la cantidad de electricidad que hace falta para depositar por electrólisis - un equivalente químico de cualquier sustancia.
- EQUIVALENTE ELECTROQUIMICO DE UNA SUSTANCIA - Es la masa depositada por electrólisis debido al paso de un coulombio.
- AMPERIO - Es la intensidad de una corriente que - corresponde al paso de un coulombio cada segundo a través de una sección de un conductor.

- O H M - Es la resistencia de un conductor, que al aplicarle entre sus extremos una diferencia de potencial de un volt, la corriente que se produce es de un amperio.
- f. e. m. - Es la energía necesaria para el transporte de cargas en el interior del acumulador.
- VOLT - Es la diferencia de potencial entre dos puntos de un campo eléctrico, que realiza un trabajo de un Joule al transportar un coulomb del primero al segundo.
- COULOMB - Es la cantidad de electricidad que es transportada por una corriente de un amperio en un segundo.
- DIFUSION - Es el proceso de transporte de las zonas de mayor concentración a los de menor concentración.
- ION - Elemento o grupo de átomos que presentan desbalance de carga.
- VOLTAJE DE RODILLA - Es el punto de inflexión en una curva voltaje-tiempo en un proceso de descarga.

- CICLADO - Proceso de formación electrolítica de -
las placas.
- CELDA - Es la estructura básica de un sistema -
espontáneo y completo de oxidación-re-
ducción, consta de dos semi-elementos -
de distinta polaridad y una solución -
electrolítica.
- BATERIA O - Es todo dispositivo que consta de dos
PILA o más celdas.

B I B L I O G R A F I A .

- 1.- ANDREWS DONALD H., KOKES RICHARD, J.; "Química Fundamental", Editorial Limusa Wiley, S. A., 1964.
- 2.- BARROW, GORDON; "Química General", Editorial Reverté, S. A., México, pág. 473-478.
- 3.- BLAEDEL J., MELOCH, V. W.; "Elementary Quantitative Analysis, Theory and Practice", 2a. Edition, Edit. Harper International. pág. 362, 795-797.
- 4.- BROOMAN, E. W., McCALLUM, J.; "Nylon Termal Conductivity Measurements of Nickel-Cadmium Aerospace - Cells", Part II, Electrochem., Soc. 1972, Vol. 119, No. 9.
- 5.- CASTELLAN, GILBERT W.; "Fisicoquímica", Fondo Educativo, Editorial Interamericana, 1971, pág. 376-380.
- 6.- CEAC; "Enciclopedia de Electricidad, Pilas y Acumuladores, Máquinas de Corriente Continua", Ej. 56 impreso en España, 1973, pág. 87-320.

- 7.- DASSLER, ADOLF; "Electroquímica y sus Fundamentos Físicoquímicos", Tomo II, UTEHA, 1963.
- 8.- DELAHAY, TOBIAS; "Advances in Electrochemistry and Electrochemical Engineering", Vol. 5, sj. Printed in the United State of America, 1967.
- 9.- DIAZ PEÑA, M., MUNTANER ROIG. A.; "Química Física", Vol. 2 Editorial Alambra, S. A., 1976.
- 10- HALL T., WILLIAM; "Química Analítica", Tomo 1, Editorial UTEHA, México, 1946, pág. 266.
- 11- HODMAN, CHARLES D.; "Handbook of Chemistry and Physics", Twenty Seventh Edition.
- 12- KIRK RAYMOND, E., OTHMER DONALD, F.; "Enciclopedia de Tecnología Química".
- 13- KOSAWA, AKIYA POWERS R. A.; "Electrochemical Reactions in Batteries", Volumen 49, No. 9, 1972. Journal of Chemical Education.
- 14- LADNER, WENTWORTH; "Fundamentos de Química Física", Editorial Reverté, S. A., 1975, pág. 228-230.

- 15- LARA N., EFRAIN ROLANDO; "Mediciones Electroquímicas en Acumuladores Acidos de Plomo", Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador, 1979.
- 16- LEYBOLD'S NACHFOLGER E.; "Nickel-Cadmiun Akumulator", Instructivo, 1965.
- 17- MARON Y PFUTTON, "Fundamentos de Fisicoquímica", México, 1977.
- 18- MITTASCHEN PLATTEN, NICKEL-CADMIUM BATTERIES, Varta 30701.
- 19- MULLER, ERICH; "Manual Práctico de Electroquímica", 2a. Edición Provenza 273, Barcelona, 1946.
- 20- PLEYBOLD, 52270, Nickel-Cadmiun Akumulator, pág. 1-5.
- 21- RAGATZ HOUGEN, WATSON; "Principios de los Procesos Químicos", Termodinámica, Tomo II, Editorial Revcrté, S. A., 1975. pág. 498.
- 22- SPIEGEL MURRAY, R.; "Estadística, Teoría y Problemas", Serie de Compendios Schaum, Libros McGraw-Hill, pág. 248-249.

- 23- VILLARREAL D., ENRIQUE; "Fuentes Electroquímicas de Corriente", Teoría y práctica. Editorial Limusa, México 1971.
- 24- WOOD VINAL, GEORGE; "Acumuladores", Editorial Diana, S. A., 1967.