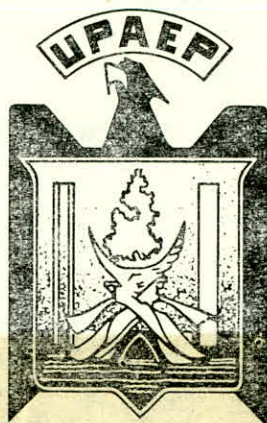


UNIVERSIDAD POPULAR AUTONOMA DEL ESTADO DE PUEBLA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



BIBLIOTECA CENTRAL

TRABAJO PRACTICO
de
RECEPCION PROFESIONAL

ELECTROQUIMICA
EQUIPO DE LABORATORIO

Juan Miguel Porras Torres

SEPTIEMBRE DE 1983



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

El uso de textos, imágenes, gráficas, 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 de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MI PAPA

UN EJEMPLO A SEGUIR DE SEGURIDAD Y LUCHA
DE AMOR Y ENTREGA A SUS HIJOS, QUE EN TODO
MOMENTO NOS HA BRINDADO SU APOYO.

A MI MAMA:

LA DEMOSTRACIÓN MÁS FIEL DE AMOR Y TERNURA, DE-
DICACIÓN Y PREOCUPACIÓN POR SUS HIJOS, QUE EN LOS
MEJORES Y EN LOS MOMENTOS DIFÍCILES SIEMPRE TIENE
UN LUGAR EN SU CORAZÓN

A MIS HERMANOS:

ANA ARCELIA, JOSE ANTONIO, RUTH MARIA, ELSA,
MARCOS Y GABY.

QUE HAN DADO LUGAR A LA FORMACIÓN DE UNA GRAN
FAMILIA.

A MIS SOBRINOS:

CESAR IVAN, NIDYA CARIDAD Y TERESITA DE JESUS
QUE REPRESENTAN PARA MI UNA PARTE IMPORTANTE EN
MI VIDA.

AL. C.P. ENRIQUE SUAREZ TORRES,

DIRECTOR DE LA PREPARATORIA LA NORIA,
POR LAS FACILIDADES PRESTADAS PARA LA
REALIZACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS DE ES-
TE TRABAJO PRÁCTICO.

A MIS MAESTROS DE UNIVERSIDAD

POR EL TIEMPO QUE DEDICARON EN IMPARTIR SUS CO-
NOCIMIENTOS PARA LA FORMACIÓN INTEGRAL ADQUIRIDA
DENTRO DE MI QUERIDA UNIVERSIDAD.

A MIS COMPAÑEROS DE UNIVERSIDAD

62731

POR EL COMPAÑERISMO Y SU APOYO INCONDICIONAL QUE ME
BRINDARON EN TODO MOMENTO.

A TODOS ELLOS MIL GRACIAS.

INDICE

	PAG.
OBJETIVO	1
INTRODUCCION	2
PARTE I: PRINCIPIOS DE ELECTROQUIMICA	
ELECTROQUIMICA: DEFINICIÓN	4
LEY DE OHM Y UNIDADES ELÉCTICAS	4
AMPERIO, OHMIO, VOLTIO, TRABAJO ELÉCTRICO. DEFINICIÓN	5
MEDICION DE LA CANTIDAD DE CORRIENTE Y CULOMBIMETRO. CONDUCCIÓN ELECTROLÍTICA.....	7
LEYES DE FARADAY DE LA ELECTRÓLISIS	8
PRIMERA LEY DE FARADAY Y SEGUNDA LEY	11
TIPOS DE CULOMBIMETROS	
CULOMBÍMETROS POR PESO	14
DE KOHLRAUSCH	
DE SMITH	
DE RICHARD'S	15
DE COBRE	18
CULOMBÍMETRO DE VOLUMENES	
DE GAS	21
CULOMBÍMETROS TITULOMÉTRICO	
DE YODO .	
DE PLATA MODELO DE KISTIAKOWSKY	24
EXPERIMENTO:	
DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE CORRIENTE	25

PARTE II: DETERMINACION DE LA CONDUCTANCIA	
CONDUCTANCIA ELECTRÓLITICA	29
MEDICIÓN DE LA CONDUCTANCIA	
PUENTE DE WHEASTSTONE	32
MÉTODO DE KOHLRAUSCH DE CORRIENTE ALTERNA	35
MÉTODO DE LA RESISTENCIA VARIABLE	36
OTROS MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTANCIA	37
CELDA DE CONDUCTIVIDAD .	
JONES Y BOLINNGER, ROSEVEARE, SHEDLOVSKY, TIPO MA TRÁZ . CELDA DE INMERSIÓN, TIPO FREAS	39
AGUA PARA CONDUCTIVIDAD	42
EXPERIMENTO	
MEDICIONES DE CONDUCTIVIDAD	43
PARTE III: CELDAS ELECTROQUIMICAS Y ELECTRODEPOSITACION	
CELDA ELECTROQUÍMICAS	46
DIFERENCIA ENTRE CELDA Y BATERÍA	46
CELDA REVERSIBLES E IRREVERSIBLES	46
FUERZAS ELECTROMOTRICES Y SU MEDICIÓN	47
POTENCIALES ELECTRÓDICOS SIMPLES	48
REGLAS RESPECTO A LAS REACCIONES Y FUERZA ELECTROMOTRICES DE LAS CELDAS	49
CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS	51
ELECTRODOS DE METAL-IÓN METÁLICO	51

REFERENCIA
Unicamente
Uso Interno

ELECTRODOS DE AMALGAMA	52
ELECTRODOS DE GAS	52
ELECTRODOS DE METAL-SAL INSOLUBLE	55
ELECTRODOS DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN	57
ELECTRODEPOSITACIÓN DE METALES	59
EXPERIMENTO	
ELECTROREVESTIMIENTO DE COBRE EN UNA MONEDA	63
ELECTRÓLISIS DE ÁCIDO CLORHÍDRICO	66
ELECTRÓLISIS DE UNA DISOLUCIÓN DE SAL COMÚN	67
BIBLIOGRAFÍA	69

O B J E T I V O

EL OBJETIVO PRINCIPAL DEL PRESENTE TRABAJO PRÁCTICO ES QUE SEA UNA BASE DE APOYO TANTO PARA CATEDRÁTICOS COMO PARA LOS ALUMNOS DE LA MATERIA DENOMINADA FISICO-QUÍMICA IV QUE SE ENCUENTRA EN EL PLAN DE ESTUDIOS DE LA CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA.

ADEMÁS DE LA PARTE TEÓRICA EL TRABAJO PRÁCTICO PRESENTADO PARA OBTENER EL TÍTULO A NIVEL LICENCIATURA DE INGENIERO QUÍMICO, LO COMPLEMENTA UN EQUIPO DE LABORATORIO FORMADO DE TRES PARTES. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE CORRIENTE -- (CULOMBIMETRIA), DETERMINACIÓN DE LA MEDICIÓN DE LA CONDUCTANCIA, Y UNA CELDA ELECTROQUÍMICA.

I N T R O D U C C I O N

LA ELECTROQUÍMICA COMO RAMA IMPORTANTE DE LA FÍSICO-QUÍMICA, TIENE UNA GRAN IMPORTANCIA EN EL CAMPO DE LA INGENIERIA QUÍMICA, PUESTO QUE ES LA BASE TEÓRICA PARA LA ELABORACIÓN DE IMPORTANTES PROCESOS TÉCNICOS, COMO SON LA ELECTROLISIS Y LA ELECTROSÍNTESIS, ES DECIR, LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS EN LOS ELECTRODOS AL PASAR UNA CORRIENTE ELÉCTRICA A TRAVÉS DE LA SOLUCIÓN, COMO SE PRESENTA EN EL CASO DE LA OBTENCIÓN DE CLORO Y ÁLCALIS, ASÍ COMO LA PURIFICACIÓN Y OBTENCIÓN DE METALES NO FERROSOS Y RAROS ASÍ COMO LA ELECTROLISIS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS.

UNA IMPORTANTE APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA ELECTROQUÍMICA ES LA GALVANOTECNIA, QUE SE REFIERE AL ELECTROREVESTIMIENTO DE METALES Y ELABORACIÓN DE MATRICES METÁLICAS.

TAMBIÉN SE PUEDE MENCIONAR OTRA NO MENOS IMPORTANTE APLICACIÓN DE LOS PROCESOS ELECTROQUÍMICOS, COMO ES LA CREACIÓN DE FUENTES QUÍMICAS DE CORRIENTE QUE EMPLEAN LA REACCIÓN QUÍMICA PARA TAL OBJETIVO, ESTO ES EN LAS PILAS ELECTROQUÍMICAS O GALVÁNICAS, INCLUYENDO LOS ACUMULADORES.

EL PRESENTE TRABAJO PRÁCTICO ESTÁ CONSTITUIDO DE TRES PARTES. EN LA PRIMERA PARTE SE HACE UNA DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE CULOMBÍMETROS USADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE CORRIENTE QUE PASA POR UNA SOLUCIÓN, DANDO A CONTINUACIÓN LA APLICACIÓN DE ÉSTAS TEORÍAS A NIVEL EXPERIMEN-

TAL, DESARROLLANDO EL CULOMBÍMETRO DE COBRE CONECTADO EN SERIE A DIFERENTES SUPERFICIES DE ELECTRODOS, DANDO A CONTINUACIÓN LOS PASOS DETALLADOS PARA TAL EXPERIENCIA.

LA SEGUNDA PARTE SE REFIERE A LA MEDICIÓN DE LA CONDUCTANCIA DE UNA SOLUCIÓN, DANDO LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE EQUIPOS, ASÍ COMO EL PRINCIPIO DE CADA UNO DE ELLOS. Y PARA FINALIZAR ESTA SEGUNDA PARTE, SE PONE A PRUEBA EL -- PRINCIPIO DEL PUENTE DE WHEATSTONE, DONDE SE HAN RECOPIADO LOS DATOS SUFICIENTES PARA EL DESARROLLO DE TAL EXPERIENCIA, DANDO LA FORMA EN LA CUAL SE PONE EN MARCHA Y EL FUNCIONAMIENTO DE LA MISMA.

LA TERCERA Y ÚLTIMA PARTE, SE REFIERE A UNA APLICACIÓN DE LA ELECTROQUÍMICA, LA ELECTRODEPOSITACIÓN DE METALES, DANDO ORIGEN A UNA CELDA ELECTROQUÍMICA PARA TAL OBJETIVO Y QUE CON MODIFICACIONES NO COMPLICADAS SE REALIZA LA ELECTRÓLISIS DE ÁCIDO CLORHÍDRICO Y DE UNA SOLUCIÓN DE SAL COMÚN. TAMBIÉN SE DÁ UNA CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRÓDOS Y UNA EXPLICACIÓN TERMODINÁMICA DE ELLOS.

P A R T E I

PRINCIPIOS DE ELECTROQUIMICA

Y

CULOMBIMETRIA

ELECTROQUÍMICA

DEFINICION

ES UNA RAMA DE LA FÍSICO QUÍMICA QUE TRATA DE LA INTERRELACIÓN DE LOS FENÓMENOS QUÍMICOS Y ELÉCTRICOS, ASÍ COMO -- DEL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LAS SOLUCIONES DE LOS ELECTROLITOS ESTABLECIENDO UNA RELACIÓN QUÍMICA Y --- ELÉCTRICA DE TALES SISTEMAS.

OBJETIVO

EL OBJETIVO ES EL ESTUDIO DE LOS PROCESOS QUE TIENEN -- LUGAR EN LOS ELECTRODOS DURANTE EL PASO DE UNA CORRIENTE -- ELÉCTRICA POR UNA SOLUCIÓN.

LEY DE OHM Y UNIDADES ELECTRICAS

LA INTENSIDAD DE UNA CORRIENTE QUE PASA POR UN CONDUCTOR, ÉSTO ES, LA CANTIDAD DE ELECTRICIDAD QUE FLUYE POR SEGUNDO, VIENE DADA POR LA DIFERENCIA DE POTENCIAL APLICADO A TRAVÉS DEL MISMO Y POR LA RESISTENCIA OFRECIDA POR EL CONDUCTOR A LA CORRIENTE DE ACUERDO CON LA LEY DE OHM QUE NOS DÁ -- LA RELACIÓN ENTRE LA CANTIDAD FUNDAMENTAL DE INTENSIDAD DE -- CORRIENTE, RESISTENCIA Y FUERZA ELECTROMOTRÍZ Y SE EXPRESA -- COMO LA INTENSIDAD DE CORRIENTE QUE ES DIRECTAMENTE PROPOR--CIONAL A LA FUERZA ELECTROMOTRÍZ E INVERSAMENTE PROPORCIONAL A LA RESISTENCIA.

$$I = \frac{E}{R}$$

DONDE:

I.- ES LA INTENSIDAD DE CORRIENTE.

E.- LA FUERZA ELECTROMOTRÍZ O DIFERENCIA DE POTENCIAL.

R.- RESISTENCIA.

LAS CANTIDADES ELÉCTRICAS SE PUEDEN EXPRESAR EN UNIDADES ELECTROMAGNÉTICAS (UEM) DEL SISTEMA CGS QUE SE BASAN EN LA LEY DE ATRACCIÓN DE LOS IMANES, EN UNIDADES ELECTROSTÁTICAS BASADAS EN LA LEY DE COULOMB SOBRE LA FUERZA DE ATRACCIÓN DE CARGAS ELECTROSTÁTICAS, O BIEN EN UNIDADES ABSOLUTAS DERIVADAS DE LA UEM.

EN EL SISTEMA DE UNIDADES ABSOLUTO LAS UNIDADES DE INTENSIDAD, POTENCIAL Y RESISTENCIA SON RESPECTIVAMENTE; AMPERIO, VOLTIO Y OHMIO, LAS CORRESPONDIENTES EN EL SISTEMA INTERNACIONAL SON AMPERIO, VOLTIO Y OHMIO INTERNACIONALES, SE DEFINEN DE LA SIGUIENTE MANERA.

AMPERIO.- ES LA INTENSIDAD DE CORRIENTE TAL QUE AL PASAR POR UNA SOLUCIÓN DE NITRATO DE PLATA DEPOSITA 0.00111800 GR DE PLATA POR SEGUNDO.

OHMIO.- ES LA RESISTENCIA A 0°C DE UNA COLUMNA DE MERCURIO DE SECCIÓN TRANSVERSAL UNIFORME DE 106.30 CM. DE LONGITUD QUE CONTIENE 14.4521 GR. DE MERCURIO.

VOLTIO.- ES LA DIFERENCIA DE POTENCIAL REQUERIDA PARA HACER PASAR UNA CORRIENTE DE UN AMPERIO A TRAVÉS DE UNA RESISTENCIA DE UN OHMIO.

LA UNIDAD DE CANTIDAD DE ELECTRICIDAD QUE RESULTAN ES EL COULOMBIO ABSOLUTO O INTERNACIONAL, QUE ES LA TRANSPORTADA POR UNA CORRIENTE UN AMPERIO EN UN SEGUNDO. COMO LA CANTIDAD DE ELECTRICIDAD QUE LLEVA UNA CORRIENTE DEBE SER IGUAL A LA VELOCIDAD TRANSPORTADA MULTIPLICADA POR EL TIEMPO, LA CARGA Q TRANSPORTADA POR LA CORRIENTE I EN T SEGUNDOS DEBE SER IGUAL A:

$$Q = I \cdot T$$

COULOMBOS, OTRA UNIDAD DE CANTIDAD DE ELECTRICIDAD QUE SE EMPLEA ES EL FARADIO F QUE VALE 96494 COULOMBOS ABS.

EL TRABAJO ELÉCTRICO (w) EFECTUADO CUANDO UNA CORRIENTE DE INTENSIDAD I PASA DURANTE T SEGUNDOS POR UNA RESISTENCIA A TRAVÉS DE LA CUAL EXISTE UNA DIFERENCIA DE POTENCIAL E , ESTÁ DADA POR LA LEY DE JOULE.

$$w = EIt = EQ$$

DONDE w SE EXPRESA EN JOULES, ÉSTA ES LA UNIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEFINIDA COMO LA CANTIDAD DE TRABAJO REALIZADO POR UNA CORRIENTE DE UN AMPERIO CIRCULANDO DURANTE UN SEGUNDO BAJO LA DIFERENCIA DE POTENCIAL APLICADO DE UN VOLTIO.

$$1 \text{ JULIO} = 1 \times 10^7 \text{ ERGIOS} = 0.2390 \text{ CALORÍAS.}$$

LA VELOCIDAD A LA CUAL SE REALIZA UN TRABAJO POR UNA CORRIENTE ELÉCTRICA SE EXPRESA EN VATIOS, SIENDO ÉSTE EL TRABAJO PRODUCIDO POR UN JULIO EN UN SEGUNDO, Y ES UNA CANTIDAD

DE POTENCIA ELÉCTRICA, LA ECUACIÓN EN VATIOS P DE UNA CORRIENTE ES:

$$P = EI = \frac{EQ}{T}$$

MEDICION DE LA CANTIDAD DE CORRIENTE Y CULOMBIMETRO.

CONDUCCION ELECTROLITICA.- EL FLUJO DE ELECTRICIDAD POR UN CONDUCTOR INVOLUCRA UNA TRANSFERENCIA DE ELECTRONES DESDE UN PUNTO DE POTENCIAL MÁS NEGATIVO A OTRO DE MENOR NEGATIVIDAD, LOS CONDUCTORES DE ELECTRICIDAD SE CLASIFICAN EN DOS CLASES QUE SON:

CONDUCTOR ELECTRÓNICOS	{	METÁLICOS O CONDUCCIÓN ELECTRÓNICA CONDUCTORES ELECTROLÍTICOS
---------------------------	---	--

EN LOS CONDUCTORES ELECTRÓNICOS, COMO METALES SÓLIDOS O FUNDIDOS Y CIERTAS SALES SÓLIDAS COMO EL SULFATO DE CADMIO O CÚPRICO, LA CONDUCCIÓN TIENE LUGAR POR EMIGRACIÓN DIRECTA DE LOS ELECTRONES A TRAVÉS DEL CONDUCTOR BAJO LA INFLUENCIA DE UN POTENCIAL APLICADO. LOS ÁTOMOS O IONES QUE COMPONEN AL CONDUCTOR NO INTERVIENEN EN EL PROCESO, EXCEPTO POR LAS VIBRACIONES RESPECTO A LAS POSICIONES MEDIAS DEL EQUILIBRIO - PERMANECEN EN SUS LUGARES.

EN LOS CONDUCTORES ELECTROLÍTICOS SE INCLUYEN ELECTROLITOS FUERTES Y DÉBILES, SALES FUNDIDAS Y TAMBIÉN SALES SÓLIDAS TALES COMO EL CLORURO DE SODIO Y EL NITRATO DE PLATA, LA TRANSFERENCIA ELECTRÓNICA TIENE LUGAR POR MIGRACIÓN IÓNICA -

POSITIVA Y NEGATIVA HACIA LOS ELECTRODOS, ÉSTA MIGRACIÓN INVOLUCRA NO SÓLO UNA TRANSFERENCIA DE ELECTRICIDAD, SINO TAMBIÉN EL TRANSPORTE DE MATERIA DE UNA PARTE A OTRA DEL CONDUCTOR, EL FLUJO DE CORRIENTE VA ACOMPAÑADA DE CAMBIOS QUÍMICOS EN LOS ELECTRODOS QUE SON MUY CARACTERÍSTICOS Y ESPECÍFICOS DE LAS SUSTANCIAS QUE COMPONEN AL CONDUCTOR Y LOS ELECTRODOS.

LA DIFERENCIA ENTRE LAS DOS CLASES DE CONDUCTORES ES:

- 1) LA CONDUCCIÓN ELECTRÓNICA AUMENTA CON LA ELEVACIÓN DE TEMPERATURA.
- 2) LA CONDUCCIÓN ELECTROLÍTICA DISMINUYE CON UN INCREMENTO DE TEMPERATURA.

EL CAMBIO DE RESISTENCIA DEL CONDUCTOR CON LA TEMPERATURA SE EXPRESA POR MEDIO DE LA ECUACIÓN SIGUIENTE.

$$R_T = R_{T_0} \left[1 + \frac{DR}{DT} (T - T_0) \right]$$

DONDE EL COEFICIENTE DE TEMPERATURA DE LA RESISTENCIA, DR/DT ES POSITIVA PARA METALES Y ALEACIONES Y NEGATIVOS PARA LOS ELECTRÓLITOS, GRAFITO Y CARBÓN.

LEYES DE FARADAY DE LA ELECTROLISIS.

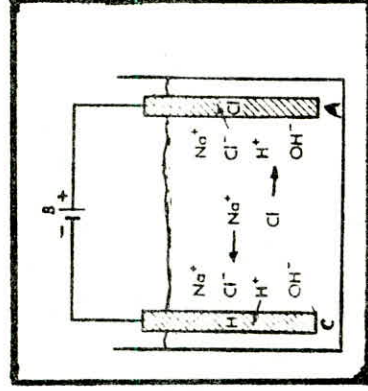
LA ELECTRÓLISIS SE DEFINE COMO EL PROCESO DEL PASO DE CORRIENTE POR UN CONDUCTOR ELÉCTRICO CON TODOS LOS CAMBIOS QUÍMICOS Y MIGRATORIOS ASOCIADOS, EL MECANISMO DE LA ELECTROLISIS ES:

- 1).- LOS ELECTRONES ENTRAN Y SALEN DE LA SOLUCIÓN A CONSECUENCIA DE LOS CAMBIOS QUÍMICOS QUE SE EFECTÚAN EN LOS ELECTRONES.
- 2).- LOS ELECTRONES PASAN POR LA SOLUCIÓN DEBIDO A LA MIGRACIÓN IÓNICA Y LO HACEN DE MANERA QUE ENTRAN TANTOS COMO SALEN.

PARA DEMOSTRAR ESTE MECANISMO CONSIDEREMOS UNA CELDA -- COMPUESTA DE ELECTRODOS INERTES, EN ÉSTE CASO DE PLATINO SUMERGIDOS EN UNA SOLUCIÓN ACUOSA DE CLORURO DE SODIO, EL -- ELECTRODO NEGATIVO CONECTADO AL LADO NEGATIVO DE UNA FUENTE DE CORRIENTE SE DENOMINA CÁTODO, DONDE ENTRAN LOS ELECTRONES A LA SOLUCIÓN QUE PROVIENEN DE LA FUENTE DE CORRIENTE, SE DENOMINA ÁNODO POR EL CUAL SALEN LOS ELECTRONES DE LA SOLUCIÓN Y REGRESAN A LA FUENTE DE CORRIENTE, ÉSTA PUEDE SER UNA BATERÍA. EN LA SOLUCIÓN TENEMOS IONES CLORO Y SODIO Y ALGUNOS -- DE HIDRÓGENO Y OXIDRILLO DEBIDO A LA IONIZACIÓN MUY LIGERA -- DEL AGUA, CUANDO EL CIRCUITO SE CIERRA Y PASA LA CORRIENTE -- POR LA SOLUCIÓN SE ENCUENTRA QUE EL GAS ESCAPA EN EL ÁNODO -- Y EL HIDRÓGENO EN EL CÁTODO, MIENTRAS QUE SE FORMA HIDRÓXIDO DE SODIO EN LA SOLUCIÓN INMEDIATAMENTE PRÓXIMA AL CÁTODO.

EXPLICACION

- 1) LOS ELECTRONES ENTRAN A LA SOLUCIÓN POR EL CÁTODO Y AL CONVINCARSE CON LOS IONES HIDRÓGENO FORMAN EL ELEMENTO MONOATÓMICO, POR LO CUAL SE COMBINAN DOS ÁTOMOS Y FORMAN UNA --



ELECTROLYSIS

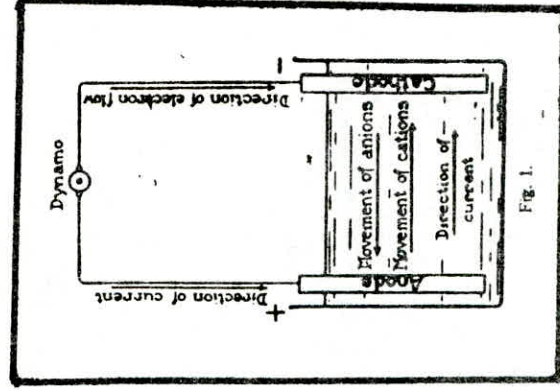
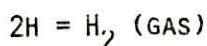
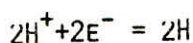
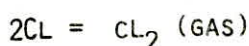
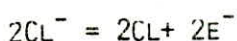


Fig. 1.

MOLÉCULA DE GAS QUE ESCAPA DEL ELECTRODO. LA REACCIÓN QUE TIENE LUGAR ES:



- 2) LOS ELECTRONES ABANDONAN LA SOLUCIÓN EN EL ÁNODO POR DESCARGA DE LOS IONES CLORO Y CADA UNO DE ÉSTOS PRODUCE UN ELECTRÓN, CONVIRTIÉNDOSE EN UN ÁTOMO DE CLORO AL LIBERARSE ESTOS ELECTRONES FLUYEN POR EL CIRCUITO EXTREMO DESDE EL ELECTRODO A LA FUENTE DE POTENCIAL, MIENTRAS QUE LOS ÁTOMOS DE CLORO SE COMBINAN ENTRE SÍ PARA FORMAR CLORO GASEOSO QUE ESCAPA. LA REACCIÓN QUE TIENE LUGAR ES:



- 3) EL CAMBIO NETO ES UNA TRANSFERENCIA DE DOS ELECTRONES DESDE EL CÁTODO AL ÁNODO.
- 4) AL CERRAR EL CIRCUITO LOS IONES NEGATIVOS, EMIGRAN HACIA EL ÁNODO (ANIONES), MIENTRAS QUE LOS POSITIVOS O CATIONES VAN HACIA EL CÁTODO Y COMO ESTAS PARTÍCULAS ESTÁN CARGADAS, SUS MOVIMIENTOS CONSTITUYEN UNA CORRIENTE ELÉCTRICA.
- 5) EL RESULTADO NETO DE LA MIGRACIÓN EN UN DESPLAZAMIENTO DE LOS ELECTRONES POR LA SOLUCIÓN EN LA DIRECCIÓN DE LA CORRIENTE, Y CADA IÓN TRANSPORTA UNA PARTE DE LA CORRIENTE

TOTAL DE ELECTRICIDAD A TRAVES DE LA SOLUCIÓN.

- 6) EL RESULTADO DE LA FORMACIÓN DE HIDRÓXIDO DE SODIO EN LA SECCIÓN CATÓDICA DE LA CELDA SE DEBE A QUE LOS IONES H -- HAN SIDO REMOVIDOS QUEDANDO EN SOLUCIÓN UN EXCESO DE IONES OXIDRILLO, LOS IONES SODIO EMIGRAN HACIA ESTA REGIÓN - EN CANTIDAD SUFICIENTE PARA DAR UNA SOLUCIÓN ELECTRICAMENTE NEUTRA.

LA REACCIÓN QUÍMICA QUE OCURRE EN LA ELECTRÓLISIS NO ES SIEMPRE UNA DEPOSITACIÓN IÓNICA SINO QUE A VECES ES UNA REACCIÓN DE OXIDACIÓN TAL COMO EL PASO DE IONES QUE SUFREN UN -- CAMBIO DE VALENCIA EN EL ÁNODO, DE IGUAL FORMA EN EL CÁTODO SE LLEVA A CABO LA REDUCCIÓN, DE ÉSTO SE DÁ LA PRIMERA LEY - DE FARADAY DE LA ELÉCTROLISIS QUE SE ENUNCIA COMO.

LA MASA DE UNA SUSTANCIA INVOLUCRADA EN LA REACCIÓN DE CUALQUIER ELECTRODO ES ESDIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LA CANTIDAD DE ELECTRICIDAD QUE PASA POR LA SOLUCIÓN, ÉSTA LEY SE APLICA A ELECTROLITOS FUNDIDOS COMO A SOLUCIONES DE ÉSTOS Y ES INDEPENDIENTE DE LA TEMPERATURA, PRESIÓN O NATURALEZA DEL SOLVENTE, SI ÉSTE ES CAPAZ DE PROMOVER LA IONIZACIÓN DEL SOLUTO.

SE PUEDE CALCULAR FÁCILMENTE LA CANTIDAD DE ELECTRICIDAD NECESARIA PARA DEPOSITAR UN PESO EQUIVALENTE DE PLATA, POR LO CUAL, UN CULOMBIO DE ELECTRICIDAD DEPOSITA 1.118 MILIGRAMOS DE PLATA DE UNA SOLUCIÓN DE PLATA, SI SE DIVIDE - EL PESO ATÓMICO EN GRAMOS DE PLATA POR EL PESO EQUIVALENTE

ELECTROQUÍMICO DE PLATA NOS DA LA RELACIÓN.

$$\frac{107.87}{0.001118} = 96\,494 \text{ CULOMBIOS}$$

ESTA CANTIDAD DE ELECTRICIDAD ES LLAMADA FARADIO

A PARTIR DE ESTOS EXPERIMENTOS QUE FARADAY EXPRESA LA RELACIÓN FUNDAMENTAL ENTRE LA CANTIDAD DE SUSTANCIA LIBERADA EN LOS ELECTRODOS POR EL PASO DE ALGUNA CANTIDAD DE -- ELECTRICIDAD SE ESTABLECE LA SEGUNDA LEY DE FARADAY DE LA -- ELECTRÓLISIS QUE SE ENUNCIA:

LAS MASAS DE DIFERENTES SUSTANCIAS PRODUCIDAS POR EL PASO DE UNA CORRIENTE SON DIRECTAMENTE PROPORCIONALES A -- SUS PESOS EQUIVALENTES.

SE PUEDE EXPRESAR TAMBIÉN COMO:

LA MISMA CANTIDAD DE ELECTRICIDAD PRODUCIRÁ CANTIDADES EQUIVALENTES QUÍMICAMENTE DE TODAS LAS SUSTANCIAS QUE RESULTAN DE ESTE PROCESO.

COMO SE HA DICHO QUE 96 494 CULOMBIOS DAN UN EQUIVALENTE DE PLATA EN CONSECUENCIA A LA SEGUNDA LEY DE FARADAY SE DICE QUE DURANTE LA ELECTRÓLISIS, 96 494 CULOMBIOS DE -- ELECTRICIDAD DARÁN UN PESO EQUIVALENTE DE CUALQUIER SUSTANCIA.

EN ESTA LEY SIGUE PREDOMINANDO LA INDEPENDENCIA DE

LA TEMPERATURA, PRESIÓN Y NATURALEZA DEL SOLVENTE, ESTAS LEYES TIENEN UN SIGNIFICADO DE LA SIGUIENTE MANERA. LA CARGA DE UN ELECTRÓN ES IGUAL A 1.602×10^{-19} CULOMBIOS ABSOLUTOS DE ELECTRICIDAD POR LO CUAL, EL NÚMERO DE ELECTRONES POR FARADIO SERÁ IGUAL A:

$$\frac{96\,494}{1.602 \times 10^{-19}} = 6.023 \times 10^{23} \text{ ELECTRONES.}$$

QUE ES IGUAL AL NÚMERO DE AVOGADRO, POR LO CUAL SE PUEDE CONCLUIR QUE UN FARADIO ESTÁ ASOCIADO CON 6.023×10^{23} PARTÍCULAS DE CARGA UNITARIA CON UN EQUIVALENTE DE SUSTANCIA.

A PARTIR DE LAS LEYES DE FARADAY PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE ELECTRICIDAD QUE PASA POR UN CONDUCTOR AL OBSERVAR LOS CAMBIOS QUÍMICOS PRODUCIDOS POR EL PASO DE UNA MISMA CORRIENTE POR UNA CELDA ELECTROQUÍMICA Y CUANDO ÉSTA SE CONSTRUYE CON DICHO PROPÓSITO SE DENOMINA CULOMBINETRO. EL CUAL SE COLOCA EN EL CIRCUITO EN SERIE CON OTRO APARATO CUALQUIERA, Y SE DEJA TRABAJAR TANTO TIEMPO COMO LA CORRIENTE ESTÉ PASANDO, LUEGO SE MUEVE Y LOS CAMBIOS PRODUCIDOS POR LA CORRIENTE SE DETERMINAN POR ALGÚN PROCEDIMIENTO ADECUADO.

TIPOS DE CULOMBIMETROS

- A) CULOMBIMETROS POR PESO. EN DONDE LA CANTIDAD DE ELECTRICIDAD ES DETERMINADA POR LA GANANCIA EN PESO DEL CÁTODO DE LA CELDA ELECTROLÍTICA, DEBIDO A LA DEPOSITACIÓN DE UN METAL DE LA SOLUCIÓN DE ESA SAL POR LA CORRIENTE.
- B) CULOMBIMETROS VOLUMETRICOS. EN DONDE ES MEDIDO EL VOLUMEN DEL GAS ELECTROLÍTICO LIBERADO POR EL PASO DE LA CORRIENTE A TRAVÉS DE LA SOLUCIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO, HIDRÓXIDO DE SODIO O POTASIO O EL VOLUMEN DE MERCURIO DEPOSITADO DURANTE LA ELECTRÓLISIS DE UNA SOLUCIÓN CONVENIENTE DE MERCURIO.
- C) CULOMBIMETROS TITULOMETRICOS. EN DONDE LOS CAMBIOS EN LA CONCENTRACIÓN O LA SUMA DE LA SUSTANCIA DEPOSITADA EN UNO DE LOS ELECTRODOS DETERMINADA POR TITULACIÓN CON UNA SOLUCIÓN ESTANDARIZADA.

DE ESTOS TIPOS DE CULOMBÍMETROS, EL DE PLATA (POR PESO) Y EL CULOMBÍMETRO DE YODO (TITULACIÓN) SON LOS MÁS -- USADOS, PARTICULARMENTE ES PRECISO POR EL ALTO PESO EQUIVALENTE DE PLATA Y YODO, LA DEPOSITACIÓN DE UN GRAMO DE PLATA CORRESPONDE A 894.34 CULOMBIOS Y LA LIBERACIÓN DE LA CANTIDAD DE YODO ES 760.33 COULOMBIOS.

CULOMBIMETROS POR PESO

LOS MÁS IMPORTANTES UTILIZADOS SON:

CULOMBIMETRO	{	DE PLATA: PARA MEDICIONES DE ALTA PRECISIÓN.
		DE COBRE: POCO PRECISO.

EL CULOMBÍMETRO DE PLATA ES EL MÁS INVESTIGADO POR QUE EN ÉL OCURREN MEDIDAS DE LA CANTIDAD DE ELECTRICIDAD QUE NO DEPENDEN ÚNICAMENTE DEL VALOR DEL FARADAY, NI DE LA DEFINICIÓN DEL AMPERIO, SINO TAMBIÉN DEL VALOR DE LA FUERZA ELECTROMOTRIZ DE LA CELDA NORMAL DE WESTON QUE SE EMPLEA COMO UN ESTANDAR UNIVERSAL DE LA FUERZA ELECTROMOTRÍZ, Y CON ÉSTO -- SUS ERRORES HAN SIDO ELIMINADOS DEBIDOS A LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE ESTA CELDA, SE USAN TRES TIPOS DE ESTOS CULOMBÍMETROS:

CULOMBIMETROS DE PLATA	{	KOHLRAUSCH
		SMITH
		RICHARD'S

EL CULOMBÍMETRO DE PLATA DE KOHLRAUSCH CONSISTE EN UN CÁTODO EN FORMA DE DISCO DE PLATINO PULIDO O DE UN CRISOL DONDE UNA PEQUEÑA LÁMINA Ó UNA VARITA DE PLATA PURA (PERFECTAMENTE DEPOSITADA ELECTROLÍTICAMENTE) SIRVE DE ÁNODO, EL -- ÁREA ACTIVA DEL ÁNODO DEBERÁ SER GRANDE COMO SEA EL TAMAÑO -- PERMITIDO DEL CULOMBÍMETRO, EL ELECTRÓLITO ES DE UN 10 O 20

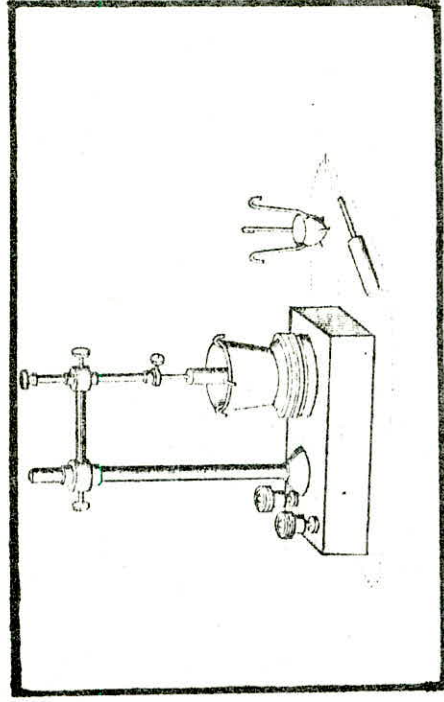


FIGURE 2

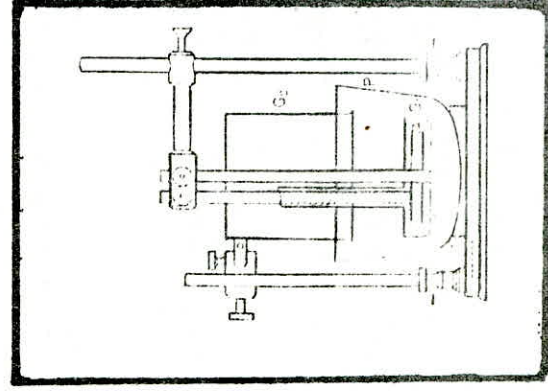


FIGURE 3

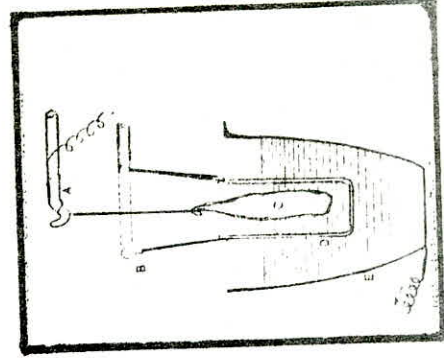


FIGURE 4

POR CIENTO DE SOLUCIÓN DE NITRATO DE PLATA, UNA PEQUEÑA COPA DE VIDRIO O DE PORCELANA SE COLOCA DEBAJO DEL ÁNODO SOSTENIDA DEL LIMO DEL ÁNODO, COMO ES MÁS PEQUEÑA QUE ÉSTE SE EN-- CHAQUETA ELÉCTRICAMENTE CON LA PLATA. (FIGURA 2).

EL CULOMBÍMETRO DE SMITH ES SIMILAR AL DE KOHL- - RAUSCH PERO LA CONSTRUCCIÓN ES DIFERENTE.

EL ÁNODO A TIENE FORMA DE DISCO, ES ENCHAQUETADO -- CON UN ELECTRÓLITO DE PLATA, EL DISCO ES SUMERGIDO EN UN TAZÓN HONDO DE VIDRIO G_1 SOPORTADO POR UNA VARILLA DE VIDRIO - PESADO DENTRO DEL DISCO, CONTIENE UN CILINDRO DE VIDRIO G_2 , CON UNA BASE Y SOBRE ÉSTA SE SOPORTA EL ELECTROLITO DENTRO - DE DOS PORCIONES, ANTES Y DESPUÉS DE LA ELECTRÓLISIS, LA BA- SE ES DE PLATINO P QUE SIRVE COMO CÁTODO. (FIGURA 3).

EL CULOMBÍMETRO DE PLATA DE RICHARD'S RECOMIENDA - QUE EL ANODO SEA UN CILINDRO PEQUEÑO POROSO CON UNA DISTRIBU- - CIÓN SECUNDARIA DE REACCION, CONSISTE DE: UN GANCHO DE VI- - DRIO A QUE SOPORTA EL ÁNODO, DE UN ARO B DE VIDRIO QUE SOPOR- TA A LA CÁPSULA POROSA, EL ÁNODO ES DE PLATA SUMAMENTE PURA C, LA CÁPSULA POROSA D Y EL CÁTODO ES DE PLATINO E. (FIGURA 4).

EL CULOMBÍMETRO DE PLATA ES SENCILLO, EL DISCO DE PLATINO SE LAVA Y SE SECA A 150°C , SE PESA Y SE LLEVA AL DE SECADOR, LA FUERZA DE LA CORRIENTE QUE PASE POR EL CULOMBÍ- METRO NO DEBERÁ EXCEDER DE 0.02 AMPERIOS POR CENTÍMETRO CUA

DRADO DE LA SUPERFICIE DEL ÁNODO, NI DE 0.002 AMPERIOS POR CENTÍMETRO CUADRADO DE LA MISMA SUPERFICIE, LA CORRIENTE DEBERÁ SER CONSTANTE Y NO MAYOR DE UN AMPERIO POR NO MENOS DE UNA HORA, TAN PRONTO COMO LA CORRIENTE HALLA FLUIDO A TRAVÉS DEL CULOMBÍMETRO ES INTERRUPTIDA, EL ELECTROLITO SE SACA Y EL DISPOSITIVO DE PLATA SE LAVA CON AGUA DESTILADA, SIN DEMORA, EL AGUA DE LAVADO SE APARTA Y SE PRUEBA LA PLATA CON UNA SOLUCIÓN DE BROMURO DE POTASIO, VARIOS LAVADOS DE AGUA DEBEÁN DARSE, NO DÁ PRUEBAS ADELANTADAS DE NITRATO DE PLATA, EL DISCO QUE CONTIENE EL DISPOSITIVO SE SECA A 150°C Y SE PEGA.

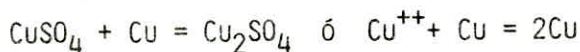
ES NECESARIO QUE EL NITRATO DE PLATA SEA ALTAMENTE PURO DE OTRO MODO EL PESO DEL DISPOSITIVO NO ES INDEPENDIENTE DEL TAMAÑO DEL CULOMBÍMETRO, A ESTO SE LE LLAMA EFICIENCIA VOLUMÉTRICA, SI EL ELECTROLITO ES PURO DENTRO DEL DISPOSITIVO, EL PROMEDIO ES DEL 0.004 POR CIENTO DE SU PESO, DE ACUERDO CON LAS RECOMENDACIONES DE LA RAMA ESTANDAR EL ELECTROLITO DEBERÁ SER PURO Y LIBRE DE SUSTANCIAS Y COLOIDES COMO SE DÁ A CONTINUACIÓN.

- 1).- POR PRUEBAS CON UN CENTÍMETRO CÚBICO DE 0.001 N DE PERMANGANATO DE POTASIO SUMADO A DIEZ CENTÍMETRO CÚBICOS DE UNA ACIDIFICACIÓN DE 66% DE UNA SOLUCIÓN DE NITRATOS DE PLATA.
- 2).- POR LA AUSENCIA DE LA EFICACIA VOLUMÉTRICA.
- 3.- POR LA FORMACIÓN DE UN DISPOSITIVO ESTANDARD.

EL DISPOSITIVO DEBERÁ SER NEUTRO O LIGERAMENTE ÁCIDO (UNA PARTE POR MILLÓN) COMO PRUEBAS CON ROJO DE METILO -- (0.2% DE ALCOHOL ETÍLICO) DESPUÉS REMOVIDA LA PLATA POR EL CLORURO DE POTACIO NEUTRO, DESPUÉS EL ELÉCTROLITO DEBERÁ SER NEUTRALIZADO Y LIGERAMENTE ÁCIDO.

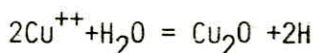
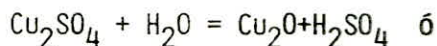
CULOMBÍMETRO DE COBRE

EN ESTE CULOMBÍMETRO, EL COBRE ES DEPOSITADO EN UN CÁTODO DE LÁMINA DE COBRE QUE SE ENCUENTRA SUSPENDIDO ENTRE DOS ÁNODOS HECHOS DEL MISMO MATERIAL DE COBRE, EL ELECTROLITO ES UNA SOLUCIÓN ACIDIFICADA DE SULFATO DE COBRE, UNA SOLUCIÓN QUE DA MUY BUENOS RESULTADOS SE LOGRA CON 125 GRAMOS DE CRISTALES DE COBRE PENTAHIDRATADO, 50 GRAMOS DE ÁCIDO SULFÚRICO CON DENSIDAD DE 1.84 Y POR ÚLTIMO 50 GRAMOS DE ALCOHOL ETÍLICO, AFORANDO CON AGUA DESTILADA HASTA COMPLETAR UN LITRO, EL CULOMBÍMETRO DE COBRE ESTÁ SUJETO A CIERTOS ERRORES COMO LO HAN DEMOSTRADO LOS TRABAJOS HECHOS POR RICHARD'S, COLLINS Y HEIMORD. ESTOS INVESTIGADORES DICEN QUE UNA SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE LEVEMENTE DISUELVE AL COBRE METÁLICO, DE ACUERDO CON LA REACCIÓN.



ASÍ CUANDO UN DECRECIMIENTO EN EL PESO DE LOS ELECTRODOS, POR OTRO LADO, UN PLATO DE COBRE SUMERGIDO EN SULFATO DE COBRE NEUTRO GANA PESO PORQUE EL SULFATO CUPROSO FORMADO

DE ACUERDO A LA REACCIÓN DE HIDRÓLISIS EN UNA SOLUCIÓN NEU--
TRA DE ÓXIDO DE COBRE ES PRECIPITADO EN EL PLATO COMO SE - -
MUESTRA EN LA SIGUIENTE REACCIÓN:



EL ÚLTIMO ORIGEN DE ERROR ES REALMENTE VENCIDO POR LA ADICIÓN DE ÁCIDO AL ALECTROLITO, EL ERROR DEBIDO A LA SOLUCIÓN DE COBRE EN LA FORMA DE IONES "CUPROSOS PUEDEN SER REDUCIDOS Y POR CORRECCIÓN PUEDE SER APLICADA, PERO NO PUEDE - SER ENTERAMENTE ELIMINADA. SE HA DICHO QUE EL PORCENTAJE DE LA PRIMERA REACCIÓN PUEDE INCREMENTARSE CON LA TEMPERATURA, COMO TAMBIÉN LA CONCENTRACIÓN DE LOS IONES COBRE NECESARIOS A ALCANZAAR EL EQUILIBRIO DE LA REACCIÓN. DE ÉSTOS HECHOS ES EVIDENTE QUE EL ERROR PUEDE SER REDUCIDO CONSERVANDO LA SOLUCIÓN FRÍA COMO SEA POSIBLE Y POR AIRE EXCLUIDO, LA ADICIÓN DE ALCOHÓL AL ALECTROLITO ES PARA ELIMINAR LA ACCIÓN DEL SOLVENTE EN LOS ELECTRODOS, LOS INVESTIGADORES ANTES MENCIONADOS TAMBIÉN NOTARON QUE EL PORCENTAJE DE SOLUCIÓN ES COBRE, VARÍA DIRECTAMENTE CON EL ÁREA DEL PLATO.

POR CONECCIÓN EN SERIE DE DOS CULOMBÍMETROS TENIENDO CÁTODOS DE DIFERENTES ÁREAS FUERON, POR EXTRAPOLACIÓN, AL CALCULAR EL INCREMENTO EN PESO, QUE LA CORRIENTE ELÉCTRICA -

PUEDE HABER CAUSADO, Y SI EL CÁTODO FUERA UNO DE ÁREA DE CERO, SE SUPONE QUE EL PLATO SE DISOLVIÓ EN EL ELECTROLITO. EN LAS SIGUIENTES TABLAS SE DAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR RICHARD'S, COLLINS Y HEIMROD, EN SU COMPARACIÓN CUIDADOSA DE CULOMBÍMETROS DE COBRE, UNO DE ELLOS TENÍA UN CÁTODO DE ÁREA DE 50 cm^2 Y EL OTRO UNA ÁREA DE 25 cm^2 . EL CULOMBÍMETRO DE COBRE CONSERVÓ UNA TEMPERATURA DE 0°C Y 1 ATM DE PRESIÓN, AL TERMINAR EL EXPERIMENTO EL PESO DE PLATA DEPOSITADA FUE COMPARADA CON EL PESO DE COBRE CALCULADO POR UN PLATO DE ÁREA CERO, EN LA CUARTA COLUMNA DE LA TABLA LOS PESOS DE LA PLATA DEPOSITADA ES CORREGIDA POR UN FACTOR EXPERIMENTALMENTE DETERMINADO, DEBIDO A ESTE FACTOR, LA SOLUCIÓN DE NITRATO DE PLATA ES CONTAMINADA POR EL PAPEL FILTRO, PUESTO QUE EL COBRE BIVALENTE, SU PESO ATÓMICO ES EQUIVALENTE A DOS PESOS ATÓMICOS DE LA PLATA.

AL TIEMPO QUE ÉSTOS TRABAJOS FUERON LLEVADOS A CABO EN 1899 EL VALOR DE 107.93 FUE TOMADO COMO EL PESO ATÓMICO DE LA PLATA, SE DA EN LA QUINTA COLUMNA EL VALOR RECALCULADO A 107.88 QUE ES EL VALOR CORRESPONDIENTE HOY EN DÍA, EL VALOR DEL PESO ATÓMICO DEL COBRE AHORA ES DE 63.57 ASÍ LAS LEYES DE FARADAY SON DEMOSTRADAS TENIENDO LA DEPOSITACIÓN UN 0.03 POR CIENTO DE ERROR, FIGURA 5.

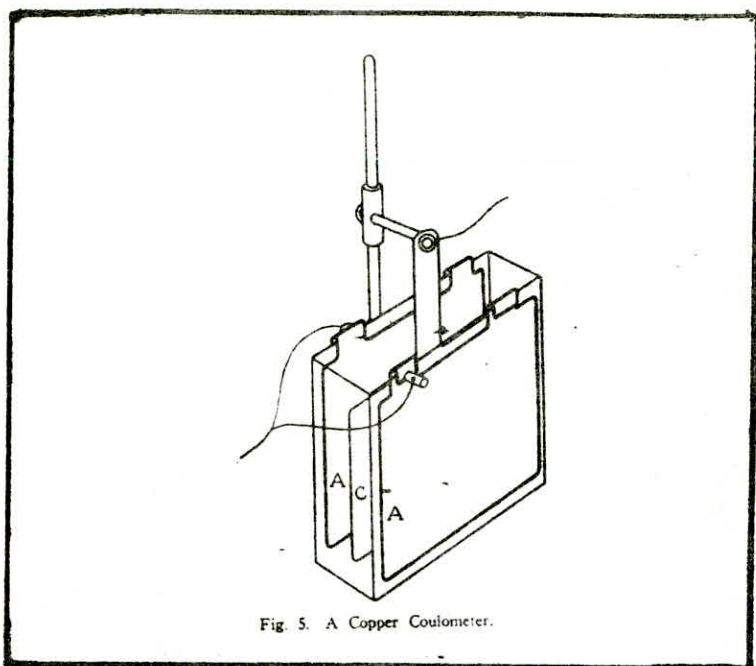


FIGURA 5

TABLE II. COMPARISON OF THE COPPER WITH THE SILVER COULOMETER. TEMPERATURE OF SILVER COULOMETER, 15° TO 25°. TEMPERATURE OF COPPER COULOMETER, -2° TO 0°. COPPER COULOMETER IN AN ATMOSPHERE OF HYDROGEN

Grams of copper			Grams of silver, corrected for impurity	Computed atomic weight of copper Ag = 107.88
deposited on cathode— 50 cm. ² in area	25 cm. ² in area	corrected to cathode of zero area		
0.83036	0.83064	0.83092	2.8197	63.58
0.63407	0.63449	0.63491	2.1556	63.55
0.69956	0.70029	0.70102	2.3768	63.64
0.84341	0.84375	0.84409	2.8638	63.59
0.87458	0.87455	0.87462	2.9687	63.57
0.69379	0.69392	0.69405	2.3549	63.59
			Average	63.59

TABLA I

CULOMBIMETROS DE VOLUMEN

EN EL ELECTROLITO DEL CULOMBÍMETRO DE GAS, EL ÁCIDO SULFÚRICO DILUÍDO DE UNA DENSIDAD DE 1.1 A 1.2 G/CC. O UN 17 POR CIENTO DE SOLUCIÓN DE SODIO O POTASIO CON SUS RESPECTIVOS HIDRÓXIDOS, SE ELECTROLIZA ENTRE ELECTRODOS DE PLATINO. CUANDO UN HIDRÓXIDO ES EMPLEADO, LOS ELECTRODOS SON DE NIQUEL LOS CUALES SUBSTITUYEN FÁCILMENTE A LOS DE PLATINO. CON ESTOS ELECTROLITOS LOS PRODUCTOS DE LA ELECTRÓLISIS SON HIDRÓGENO Y OXÍGENO, EN LA PROPORCIÓN EN LA CUAL ESTÁN PRESENTES EN AGUA, ESOS GASES SON RECOLECTADOS Y SE MIDE SU VOLUMEN A UNA TEMPERATURA Y PRESIÓN DEFINIDA, DEBIDO A LAS DIFICULTADES DE LA COLECCIÓN Y EXACTITUD DE MEDICIÓN DE GRANDES VOLUMENES DE GAS, EL ELECTROLITO DEL CULOMBÍMETRO DE GAS SE USA SOLAMENTE PARA MEDIR PEQUEÑAS CANTIDADES DE ELECTRICIDAD.

DESPUÉS DEL PASO DE UN FARADAY DE ELECTRICIDAD A TRAVÉS DEL ELECTROLITO DEL CULOMBÍMETRO DE GAS SE COLOCA UN EQUIVALENTE DE CADA UNO, HIDRÓGENO Y OXÍGENO, ESTA CANTIDAD DE ELECTRICIDAD ESTARÁ A 0°C Y 760 M M DE PRESIÓN. (FIGURA 6.)

$$\frac{22.38}{2} \text{ LITROS DE H}_2 + \frac{22.38}{4} \text{ LITROS DE O}_2 = 16.78 \text{ LITROS.}$$

TROS.

62731

DE GAS ELECTROLÍTICO, DE AQUÍ UN CENTÍMETRO CÚBICO DE GAS -- ELECTROLÍTICO SECO A TEMPERATURA Y PRESIÓN NORMAL CORRESPON-

DE A 5,748 CULOMBIOS DE ELECTRICIDAD. AL OBSERVAR EL VOLU--
MEN DE ESE GAS DEBE SER REDUCIDO A 0°C Y 760 MM DE PRESIÓN -
POR MEDIO DE LA FÓRMULA.

$$V_0 = V \frac{B - H}{760 (1 + T/273)}$$

DONDE V_0 ES EL VOLUMEN REDUCIDO, (B) LA ALTURA DEL BARÓMETRO
EN MM, (T) LA TEMPERATURA OBSERVADA EN GRADOS CENTÍGRADOS, Y
(H) LA TENSIÓN DE VAPOR DE AGUA EN MM A LA TEMPERATURA (T).

AUNQUE EN TRABAJOS INDUSTRIALES CANTIDADES DE ELEC-
TRICIDAD SON CON FRECUENCIA MEDIDAS POR MULTIPLOS DE LA MEDI-
DA DE LA CORRIENTE, CALCULADA POR INDICADORES DE UN AUMENTO
DEL INTERVALO DE FRECUENCIA, POR LA DURACIÓN DEL TIEMPO EN -
QUE FLUYE LA CORRIENTE, PARA MÁS EXACTITUD, MEDICIONES RÁPI-
DAS, MEJORANDO LAS FORMAS DEL CULOMBÍMETROS POR PESO DA MEJO-
RES RESULTADOS.

EL CULOMBÍMETRO VOLUMÉTRICO CONSISTE DE UNA VASIJA
DE VIDRIO CON UN CANAL CIRCULAR A, DONDE CONTIENE UN ÁNODO -
CON MERCURIO, ÉSTE CANAL ESTÁ CONECTADO DIRECTAMENTE EN EL -
DEPÓSITO DE MERCURIO K, ABAJO A ES EL CÁTODO, C, DE CARBÓN,
UN COLLAR DE VIDRIO, B. EVITA LA EXISTENCIA DE ACARREO SOBRE
MECÁNICAMENTE EN LA PARTE MÁS BAJA DE LA VASIJA EL APARATO -
SE LLENA CON UNA SOLUCIÓN DE YODURO DE MERCURIO Y POTACIO --
(225 GRAMOS DE HgI_2 Y 750 GRAMOS DE KI POR LITRO). A UNA PE-
QUEÑA DISTANCIA DE B. EL CONTACTO ES HECHO ENTRE A Y C POR -

MEDIO DE ALAMBRES SELLADOS EN EL VIDRIO.

EL MERCURIO ES LIBERADO EN UN MUY FINO VAPOR A C Y COLECTADO EN UN TUBO G, DONDE SE SELLA POR LA PARTE MÁS BAJA EN LUGAR DE DETERMINAR EL PESO DEL MERCURIO QUE ES LIBERADO POR LA CORRIENTE, ESTE VOLUMEN ES LEIDO EN UNA ESCALA, H, A TRAVÉS DE G, ÉSTA ESCALA DEBERÁ ESTAR GRADUADA PARA LEER AMPERS POR HORA DIRECTAMENTE.

CUANDO EL MERCURIO DE G ASCIENDE A UN PUNTO SOBRE LA ESCALA, EL APARATO ES INVERTIDO Y EL MERCURIO SE DEJA QUE FLUYA AL REVÉS EN K. ESTE CULOMBÍMETRO DEBERÁ SER USADO CON TODA POSIBILIDAD DE CUALQUIER FUERZA DE CORRIENTE.

UNA VENTAJA IMPORTANTE DEL CULOMBÍMETRO DE MERCURIO ES LA PEQUEÑA CANTIDAD DE KILOWATTS HORA EN LA MEDICIÓN DE GRANDES CANTIDADES DE CORRIENTE.

CULOMBIMETRO TITULOMETRICO

ESTE CULOMBÍMETRO ES CONVENIENTE PARA PEQUEÑAS MEDIDAS DE LA CANTIDAD DE ELECTRICIDAD, LOS ERRORES SON EVITADOS POR LAVADOS Y SECADO DEL CÁTODO, EL MÁS IMPORTANTE Y MÁS PRECISO ES EL DE YODO, EL ERROR NO ES MAS DE 0.001 POR CIENTO, DISEÑADO POR WASHBURN Y BATES, EL APARATO CONSISTE ESCENCIALMENTE DE MIEMBROS COLOCADOS POR UN TUBO V Y EQUIPADOS -- CON ELECTRODOS DE PLATINO Y ES LLENADO CON UNA SOLUCIÓN DE -- YODURO DE POTACIO, DURANTE EL PASO DE CORRIENTE EL YODO ES -- LIBERADO EN LA RAMA DEL ÁNODO, LA CANTIDAD LIBERADO POR CON -- SECUENCIA ES DETERMINADA POR TITULACIÓN. (FIGURA 7).

PARA PRUEBAS DE TRABAJOS PRECISOS EL CULOMBÍMETRO TITULOMÉTRICO DE PLATA DE KISTIAKOWSKY SE EMPLEA, ÉSTE CON-- SISTE, DISEÑADO PARA TRABAJOS CON UN 0.1 POR CIENTO DE ERROR DONDE LA FUERZA EXCESIVA NO ES MÁS DE 0.2 AMPERIOS Y LA DURA-- CIÓN DE LA ELECTRÓLISIS NO MÁS DE UNA HR. CONSISTE DE UN TU-- BO DE UNOS 20 Ó 30 CENTÍMETROS DE LARGO Y 20 MILÍMETROS DE -- DIÁMETRO, QUE TIENEN UNA PALOMETA SIMILAR A UNA BURETA COLO-- CADA AL FINAL DEL TUBO, EL ÁNODO A ES DE PLATA, ENCHAQUETADO CON EL ELECTRÓLITO QUE CONTIENE PLATA, AL FINAL DEL TUBO DE VIDRIO SE SELLA Y CONTIENE MERCURIO TAL QUE LA CONECCIÓN -- ELÉCTRICA HECHA CON PLATA, EL TUBO SE LLENA CON 10 POR CIENT-- TO DE SOLUCIÓN DE NITRATO DE POTACIO EN EL PUNTO INDICADO -- POR LA RAMURA. A PARTIR DE ALLÍ SE LLENA EL TUBO CON OTRA SO-- LUCIÓN DE NITRATO DE PLATA SE PUEDE AÑADIR QUE CONTENGA UN 7

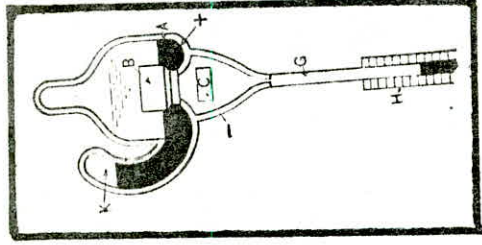


FIGURA 6

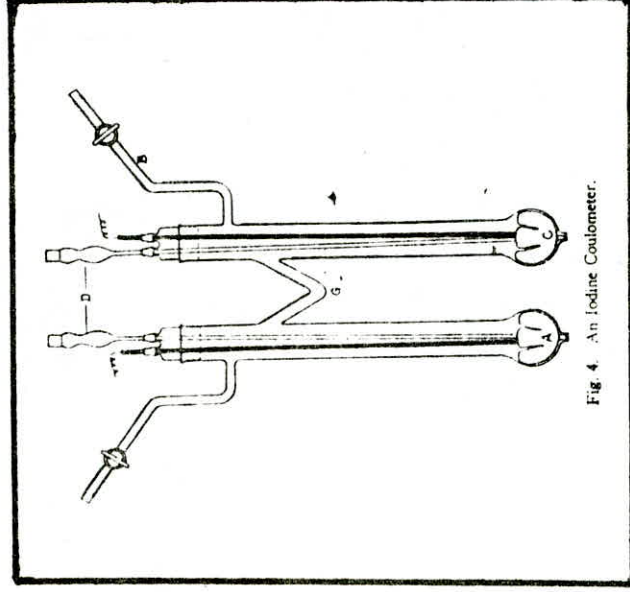


Fig. 4. An Iodine Coulometer.

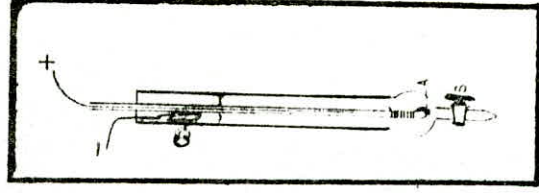


FIGURA 8

FIGURA 7

POR CIENTO, SE COLOCA SÓLAMENTE UNA QUINTA PARTE DEL VOLUMEN TOTAL DEL NITRATO DE PLATA. EL CÁTODO C, SEMICILÍNDRICO ES DE PLATINO, COLOCADO EN LA PARTE SUPERIOR DE LA SOLUCIÓN. DURANTE EL PASO DE LA CORRIENTE LA PLATA SE DISUELVE EN EL ÁNODO, UN EQUIVALENTE POR FARADAY, EN CONCLUSIÓN DE LA ELECTROLISIS DE LA SOLUCIÓN, LA CORRIENTE SE APAGA, Y LA PLATA QUE SE HA DISUELTO ES TITULADA POR EL MÉTODO DE VOLHARD'S. (FIGURA 8).

EXPERIMENTO: DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE CORRIENTE.

APARATOS: JUEGO DE CULOMBÍMETRO, PILA DE 6 VOLTIOS, MATRÁZ AFORADO DE 1 LITRO, PROBETAS DE 50 Y 100 ML, MORTERO, LÁMINA DE COBRE CALIBRE 36, 125 GR. DE SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO, 50 GRAMOS DE ÁCIDO SULFÚRICO DE DENSIDAD 1.84 50 GRAMOS DE ALCOHOL ETÍLICO DE DENSIDAD DE 0.79, AGUA DESTILADA, CABLES DE UNIÓN.

SE LAVAN LOS VASOS DEL EQUIPO DE CULOMBIMETRÍA CON AGUA CORRIENTE Y POR ÚLTIMO SE ENJUAGAN CON AGUA DESTILADA, SE CORTAN LÁMINAS DE COBRE DE LAS SIGUIENTES MEDIDAS; 3 LÁMINAS DE UN ÁREA DE 50 cm^2 , 3 LÁMINA DE 25 cm^2 , 3 LÁMINAS DE 10 cm^2 DE ÁREA.

SE PESA UNA LÁMINA DE CADA TAMAÑO POR SEPARADO EN LA BALANZA ANALÍTICA Y SE ANOTA EL PESO DE CADA UNA DE LAS

LÁMINAS, LAS DOS LÁMINAS DE CADA TAMAÑO SE PESAN POR SEPARADO Y SE ANOTA EL PESO DADO.

LAS DOS LÁMINAS SE UTILIZAN COMO ÁNODOS Y SE COLOCAN EN LAS TAPAS DE CADA UNO DE LOS VASOS EN LOS EXTREMOS DE ÉSTAS CONECTÁNDOLAS AL CABLE DE UNIÓN, LA LÁMINA QUE SE PESÓ SOLA SE UTILIZA COMO CÁTODO Y SE PONE EN LA PARTE MEDIA DE LA TAPA CONECTÁNDOLA AL CABLE DE UNIÓN Y SE CONECTA AL CIRCUITO DE CORRIENTE DIRECTA DEL EQUIPO DE CULOMBÍMETROS.

SE PREPARA LA SOLUCIÓN, SI EL SULFATO DE COBRE TIENE CRISTALES GRANDES SE REDUCEN EN EL MORTERO HASTA QUE QUEDA UN TAMAÑO CASI EN POLVO, SE PONE EN EL MATRAZ AFORADO, EN SEGUIDA SE LE AGREGA EL ALCOHOL ETÍLICO Y POCO A POCO EL ÁCIDO SULFÚRICO PARA QUE SE DISUELVA COMPLETAMENTE LOS CRISTALES, SE AGREGA AGUA DESTILADA HASTA COMPLETAR UN LITRO.

LA SOLUCIÓN SE REPARTE EN PARTES PROPORCIONALES SEGÚN EL TAMAÑO DEL VASO DE MANERA QUE CUBRAN LAS LÁMINAS DE COBRE EN CADA VASO.

SE ASEGURA QUE LOS CABLES DE UNIÓN ESTÁN BIEN COLGADOS PARA QUE LA CORRIENTE PASE PERFECTAMENTE.

SE DEJA PASAR CORRIENTE DURANTE UNA HORA, EN CASO DE QUE LA PILA ESTÉ GASTADA SE MIDE SU VOLTAJE EN UN VOLTÍMETRO PARA LOS CÁLCULOS.

AL TÉRMINO DE UNA HORA SE INTERRUMPE LA CORRIENTE, LOS CÁTODOS DE CADA UNO DE LOS VASOS SE SACAN DE LA SOLUCIÓN Y SE ENJUAGAN CON AGUA DESTILADA CUIDADOSAMENTE EN SEGUIDA - SE PESAN CADA UNO DE LA BALANZA ANALÍTICA, EL RESULTADO DE ESTA PESADA SE RESTA A LA ORIGINAL Y SE HACE EL CÁLCULO PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE CULOMBOS POR MEDIO DE LA FÓRMULA:

$$Q = \frac{(96\ 494\ \text{COUL}) \times (2) \times (\text{GR. DEPOSITADOS})}{63.54}$$

DONDE:

Q.- CANTIDAD DE CULOMBOS, (CANTIDAD DE ELECTRICIDAD)

96 494 COUL.- UN FARADIO.

63.54.- PESO ATÓMICO DEL COBRE.

2.- EQUIVALENTE ELECTROQUÍMICO.

A CONTINUACIÓN SE CALCULA LA INTENSIDAD DE CORRIENTE QUE PASÓ DURANTE UNA HORA POR MEDIO DE LA FÓRMULA:

$$I = \frac{Q}{3600\ \text{SEG.}}$$

DONDE:

Q.- CANTIDAD DE ELECTRICIDAD EN CULOMBOS

I.- INTENSIDAD DE CORRIENTE EN AMPERIOS

RESULTADO:

SE CONCLUYE QUE AL PASO DE LA CORRIENTE AL DEPOSITARSE UN --

GRAMO DE COBRE, LA CORRIENTE QUE HA PASADO ES DE 3040 CULOM-
BIOS.

P A R T E I I

DETERMINACION DE LA CONDUCTANCIA.

DETERMINACION DE LA CONDUCTANCIA

CONDUCTANCIA ELECTROLITICA.- CUANDO UNA CORRIENTE FLUYE EN UNA SOLUCIÓN DE ELECTROLITO, LA CARGA ES ARRASTRADA POR EL MOVIMIENTO DE ANIONES Y CATIONES, SI SE PONE UNA SOLUCIÓN DE UN ELECTROLITO EN UNA CELDA QUE CONTENGA DOS ELECTRODOS PARALELOS DE ÁREA A CADA UNO, SE PARADOS POR UNA DISTANCIA L , Y SE ENCUENTRA QUE LA RESISTENCIA DE LA CELDA ES R , ENTONCES LA RESISTENCIA ESPECÍFICA DE LA SOLUCIÓN ES:

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L}$$

LA CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA L_s ES LA RECÍPROCA DE LA RESISTENCIA POR LO CUAL LAS UNIDADES SON LAS RECÍPROCAS DE LOS OHMS, SI SE PUDIERAN CONSTRUIR UNA CELDA CON ELECTRODOS DE EXACTAMENTE UN CENTÍMETRO CUADRADO DE ÁREA DE SEPARACIÓN LA RECÍPROCA DE LA RESISTENCIA DE LA CELDA ES RECÍPROCA DE OHMIOS QUE SERÍAN NUMÉRICAMENTE IGUAL A LA CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA, EN RECÍPROCA DE OHMIOS POR CENTÍMETROS, LA CELDA DE CONDUCTIVIDAD ORDINARIA NO SATISFACE ESTAS CONDICIONES Y POR ELLO ESTAN CONVENIENTEMENTE DEFINIDAS LA CONSTANTE K DETERMINADA POR LA GEOMETRÍA DE LA CELDA Y LLAMADA CONSTANTE DE LA CELDA Y LLAMADA CONSTANTE DE LA CELDA POR LO QUE:

$$K = L_s R$$

DONDE R ES LA RESISTENCIA DE LA CELDA REAL, EL VALOR NUMÉRI-

CO DE K PARA UNA CELDA PARTICULAR SE ESTABLECE EXPERIMENTALMENTE, USANDO UNA SOLUCIÓN ESTANDAR DE CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA CONOCIDA.

LA CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA CLARAMENTE DEPENDERÁ DE LA CONCENTRACIÓN DEL ELECTRÓLITO. LA MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD EN UNA BASE EQUIVALENTE, DEFINIENDO LA CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE COMO:

$$\Lambda_o = \frac{1000 L_s}{C}$$

EN DONDE C ES LA CONCENTRACIÓN DE UNA SOLUCIÓN EN EQUIVALENTES GRAMOS POR LITRO, ENTONCES LA CONCENTRACIÓN POR CENTÍMETRO CÚBICO ES C/1000 Y EL VOLUMEN QUE CONTIENE UN EQUIVALENTE DE SOLUTO ES POR ESTA RAZÓN 1000/C C.C.

LA CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA SE DEFINE COMO LA CONDUCTANCIA CONOCIDA DE UN VOLUMEN DE SOLUCIÓN QUE CONTIENE UN PESO EQUIVALENTE DE LA SUSTANCIA DISUELTA CUANDO SE COLOCA ENTRE DOS ELECTRODOS PARALELOS ENTRE SÍ.

EL INCREMENTO DE LA CONDUCTIVIDAD EQUIVALENTE DE LAS SOLUCIONES DE ELECTRÓLITOS FUERTES, EN UN INTERVALO BAJO DE CONCENTRACIÓN, NO OBEDECE A UN INCREMENTO EN LA DOSOCIACIÓN YA COMPLETA, SINO A UN AUMENTO EN LA MOVILIDAD DE LOS IONES, EN LA SOLUCIÓN CONCENTRADA DE UN ELECTROLITO FUERTE MUY IONIZADO, LOS IONES ESTÁN LO SUFICIENTEMENTE PRÓXIMOS UNO DEL --

OTRO PARA QUE EL MOVIMIENTO DE UNO DE ELLOS NO TAN SÓLO ESTÉ INFLUIDO POR EL CAMPO ELÉCTRICO APLICADO A TRAVÉS DE LOS -- ELECTRODOS, SINO TAMBIÉN POR EL CAMPO DE LOS IONES QUE LO RO DEAN. ENTONCES, LAS VELOCIDADES IÓNICAS DEPENDEN DE AMBAS -- FUERZAS, ÁRRHENIUS INTENTÓ TRATAR EL COMPORTAMIENTO DE LA -- CONDUCTIVIDAD ELECTROLÍTICA DE LOS ELECTROLITOS FUERTES EN -- LA MISMA FORMA QUE, CON ÉXITO, HABÍA TRATADO A LOS ELECTROLI TOS DÉBILES, SIN EMBARGO, DICHO TRATAMIENTO ES INCONSISTENTE CON EL HECHO EXPERIMENTAL, DESCUBIERTO POR KAOHLRAUSCH, DE -- LA GRÁFICA DE LA CONDUCTIVIDAD DE UN ELECTRÓLITO FUERTE CON-- TRA LA RAÍZ CUADRADA DE LA CONCENTRACIÓN QUE ES CASI LINEAL, RECIENTEMENTE DEBYE Y HÜCKEL Y ÖNSAGER HAN PODIDO CALCULAR -- EL EFECTO DE LOS IONES QUE RODEAN A UN IÓN DETERMINADO SOBRE LA MOVILIDAD DE ÉSTE, Y PARA SOLUCIONES DILUIDAS HAN LOGRADO RESULTADOS TOTALMENTE CONSISTENTES CON LOS HECHOS EXPERIMEN-- TALES. AQUÍ SE SUPONE QUE LA DISOCIACIÓN ES TOTAL.

LA CONDUCTIVIDAD DE ESTAS SOLUCIONES ES EL RESULTADO -- DEL MOVIMIENTO DE IONES A TRAVÉS DE LA SOLUCIÓN HACIA LOS -- ELECTRODOS. CUANDO DOS ELECTRODOS QUE VAN EN LA SOLUCIÓN SE HACEN PARTE DE UN CIRCUITO ELÉCTRICO COMPLETO, LOS CATIONES (+) SON ATRAIDOS AL POLO NEGATIVO (CÁTODO) Y LOS ANIONES (-) AL POLO POSITIVO (ÁNODO). LOS CAMBIOS EN LA CONDUCTIVIDAD -- EQUIVALENTE DE UNA SOLUCIÓN DE ELECTROLITO, CON LOS CAMBIOS EN LA CONCENTRACIÓN PUEDEN RESULTAR DE LOS CAMBIOS EN EL NÚ-- MERO Y EN LA MOVILIDAD DE LOS IONES PRESENTES, SI TANTO COMO EL ANIÓN COMO EL CATION SON MONOVALENTES, LA NEUTRALIDAD --

ELÉCTRICA DE LA SOLUCIÓN GARANTIZA QUE ESTÁN PRESENTES IGUAL NÚMERO DE LOS DOS IONES. SIN EMBARGO EN LO GENERAL NO TENDRÁN LA MISMA MOVILIDAD Y POR LO TANTO NO PARTICIPAN IGUALMENTE EN LA CONDUCTIVIDAD DE LA CORRIENTE. EL NÚMERO DE TRANSFERENCIA T , DEL CATIÓN ES POR DEFINICIÓN, LA FRACCIÓN DE LA CORRIENTE A QUE SE ELEVA EL CATIÓN.

EL MÉTODO DE LA FRONTERA MÓVIL CONSTITUYE EL MÉTODO MÁS EXACTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS NÚMEROS DE TRANSFERENCIA DE CATIONES Y ANIONES Y UNA EVALUACIÓN COMO ÉSTA, JUNTO CON UNA MEDICIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA PUEDE USARSE PARA CALCULAR LAS MOVILIDAD IÓNICAS.

MEDICION DE LA CONDUCTANCIA

EL PROBLEMA DE OBTENER LA CONDUCTANCIA EQUIVALENTE SE REDUCE EN SÍ A LA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTANCIA ESPECÍFICA DEL ELECTROLITO, Y ÉSTA A SU VEZ A UNA MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA SOLUCIÓN Y EL USO DE LAS ECUACIONES DADAS ANTERIORMENTE, AL MEDIR RESISTENCIAS DE LAS SOLUCIONES ELECTROLÍTICAS SE EMPLEAN MÉTODOS COMO EL DEL PUENTE DE WHEATSTONE, EL CUAL CONSISTE DE UNA RESISTENCIA DESCONOCIDA, R_x QUE SE BUSCA, SE COLOCA EN UNA RANURA DEL PUENTE, Y UNA RESISTENCIA VARIABLE CONOCIDA R_s , EN LA OTRA PARTE AB ES EL ALAMBRE UNIFORME DE DESLIZAMIENTO SOBRE EL QUE SE MUEVE EL PUNTO DE CONTACTO C, PARA BALANCEAR EL PUENTE SE MUEVE EL CURSOR A LO LARGO DE ESTA RESISTENCIA HASTA QUE NO HALLA PASO DE CORRIENTE A TRAVÉS DEL GALVANÓMETRO G. AL ALCANZAR ESTA SITUACIÓN

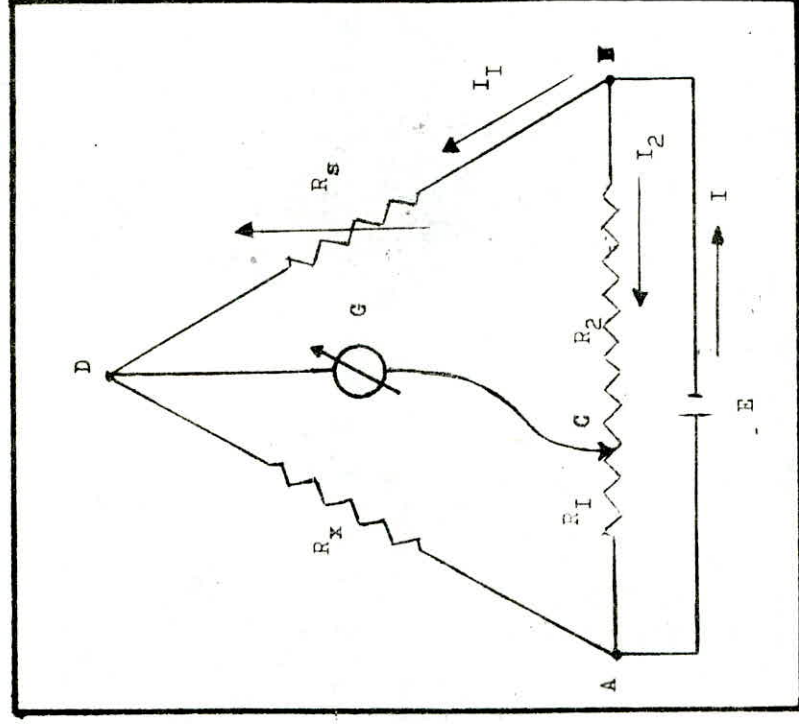


FIGURA 9

SE LEEN LOS VALORES DE LAS RESISTENCIAS R_s , LA QUE CORRESPONDE DESDE A A C, R_1 Y R_2 QUE CORRESPONDEN A CB, CON LO CUAL SE CALCULA EL VALOR DE R_x , TENIENDO EN CUENTA LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES. (FIGURA 9).

CUANDO LA CORRIENTE I ALCANZA EL PUNTO B SE DIVIDE EN DOS CAMINOS PARALELOS SEGÚN LAS INTENSIDADES I_1 E I_2 . ESTAS PRODUCEN UNA CAÍDA DE POTENCIAL A LO LARGO DE LAS RESISTENCIAS QUE ATRAVIEZAN, EL PROPÓSITO DE BALANCEAR EL PUENTE ES HALLAR UN PUNTO A LO LARGO DE AB, ESTO ES C, TAL QUE LA CAÍDA DE POTENCIAL DESDE B A C SEA IGUAL A LA DE B A D, CUANDO SE HALLA ESTE PUNTO, D Y C SE ENCUENTRAN EN EL MISMO POTENCIAL Y NO HAY NINGÚN FLUJO DE CORRIENTE POR LA RAMA QUE CONTIENE EL GALVANÓMETRO. LA CONDICIÓN DE BALANCEAR ES ENTONCES

$$R_s I_1 = R_2 I_2$$

PERO, CUANDO ESTAS CAÍDAS DE POTENCIAL $V = IR$ SON IGUALES, LAS DE DA Y CA DEBEN SERLO TAMBIÉN, DE AQUÍ:

$$R_x I_1 = R_1 I_2$$

AL DIVIDIR AHORA LAS SEGUNDA DE ESTAS IGUALDADES POR LA PRIMERA, RESULTA,

$$\frac{R_x}{R_s} = \frac{R_1}{R_2}$$

Y POR TANTO.

$$R_x = R_s (R_1/R_2)$$

AUNQUE AL PRINCIPIO DEL PUENTE DE WHEATSTONE ES EL MISMO EN DIFERENTES CASOS, SE HAN INTRODUCIDO DIVERSAS MODIFICACIONES DE LA TÉCNICA ANTES DE QUE LAS RESISTENCIAS ELECTRÓLICAS SEAN DETERMINABLES POR ESTE PROCEDIMIENTO, EN PRIMER LUGAR NO ES POSIBLE UTILIZAR UNA CORRIENTE DIRECTA, PUESTO QUE LA MISMA ORIGINARÍA ELECTRÓLISIS Y CAMBIOS DE CONCENTRACIÓN EN LOS ELECTRODOS. PARA EVITARLO SE USA UNA CORRIENTE, DEBE POSEER UNA ONDA MÁS PRÓXIMA A LA SENOIDAL, ESTA CORRIENTE ES ALTERNA CON UNA FRECUENCIA DE 500 A 2000 CICLOS POR SEGUNDO, PROPORCIONADA POR UN TUBO ASCILADOR DE VACÍO, COMO -- UNA CORRIENTE DE TAL FRECUENCIA ESTÁ DENTRO DEL INTERVALO -- DEL OÍDO HUMANO, EL GAVANÓMETRO SE PUEDE REEMPLAZAR POR UNOS AUDÍFONOS, CUANDO LA CORRIENTE CIRCULA SE PRODUCE UN ZUMBIDO QUE DISMINUYE DE INTENSIDAD CUANDO NOS ACERCAMOS AL BALANCE SIENDO MÍNIMO ESTE PUNTO. TEÓRICAMENTE EL SONIDO DEBE SER MÍNIMO, ENTONCES, PERO A CAUSA DE LA CAPACITANCIA INTRODUCIDA EN LA CELDA NO SE LOGRA TAL ESTADO IDEAL, SIN EMBARGO, COLOCANDO UN CONDENSADOR VARIABLE A TRAVÉS DE LA RESISTENCIA TIPO, ES POSIBLE AGUDIZAR EL BALANCEO AJUSTADO EL CONDENSADOR A LA CAPACITANCIA DE LA CELDA, UN DISPOSITIVO DIFERENTE QUE SE EMPLEA HOY EN DÍA ES EL OSCILOSCOPIO DE RAYOS CATÓDICOS, MEDIANTE EL CUAL SE LOGRA EL BALANCE DE LA RESISTENCIA Y DE LA CAPACITANCIA.

MÉTODO DE KOHLRAUSCH DE CORRIENTE ALTERNA.

EL MECANISMO CON QUE TRABAJA ESTE MÉTODO DE KOHLRAUSCH ES EL MISMO QUE EL QUE DESARROLLA EL PUENTE DE WHEATSTONE, - LA ÚNICA DIFERENCIA ES QUE EN LUGAR DE UTILIZAR UN AUDÍFONO UTILIZA UN TELÉFONO, TAL COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 10. AB REPRESENTA EL PUENTE USADO, I UN INDICADOR BOBINA U OTRO DE ORIGEN DE ALTA FRECUENCIA DE CORRIENTE ALTERNA, T ES UN TELÉFONO, R UNA RESISTENCIA VARIABLE Y K UN CONDENSADOR DE AIRE VARIABLE QUE BALANCEA LA CAPACITANCIA DE LA CELDA C QUE CONTIENE LA SOLUCIÓN. CUANDO LA CORRIENTE PASA POR I LLEGA AL PUNTO A, ÉSTE DIVIDE Y BAJA A B POR LA PARTE ARDCB Y ACB. SI LA RESISTENCIA DE LA SOLUCIÓN ES IGUAL A LA DE R, ESTE DEBERÁ TENER UNA CAÍDA DE POTENCIAL DE A A C COMO ÉSTE DE A AL PUNTO DE MEDIDA C, DEL PUENTE USADO AB, DE AQUÍ, DESPUÉS DEL PUNTO C Y D SÓN DE ALGUNA POTENCIA, CONETANDO ÉSTOS PUNTOS DE CONTACTO CON EL TELÉFONO Y EL PUENTE USADO, ES MOVIDO DE C A OTRO C' Ó C'', LA CORRIENTE DEBERÁ FLUIR A TRAVÉS DEL TELÉFONO Y NO SE OIRÁ RUIDO DEBIDO A LA DIFERENCIA DE POTENCIAL EXISTENTE ENTRE D Y C' Ó C.. COMO SIEMPRE QUE LA RESISTENCIA DE R Y C, EN ÉSTE PUNTO C DEL PUENTE, COMO HA RETENIDO ALGO DE CORRIENTE COMO EN D, ÉSTE PUNTO DEBERÁ OBTENERSE POR MOVIMIENTO DE CONTACTO A TRAVÉS DEL PUENTE HASTA QUE HALLA SILENCIO EN EL TELÉFONO, LOCALIZANDO ESTE PUNTO, LA RESISTENCIA DE LA SOLUCIÓN EN C ES DADO POR LA EXPRESIÓN:

$$R: C = AC : CB$$

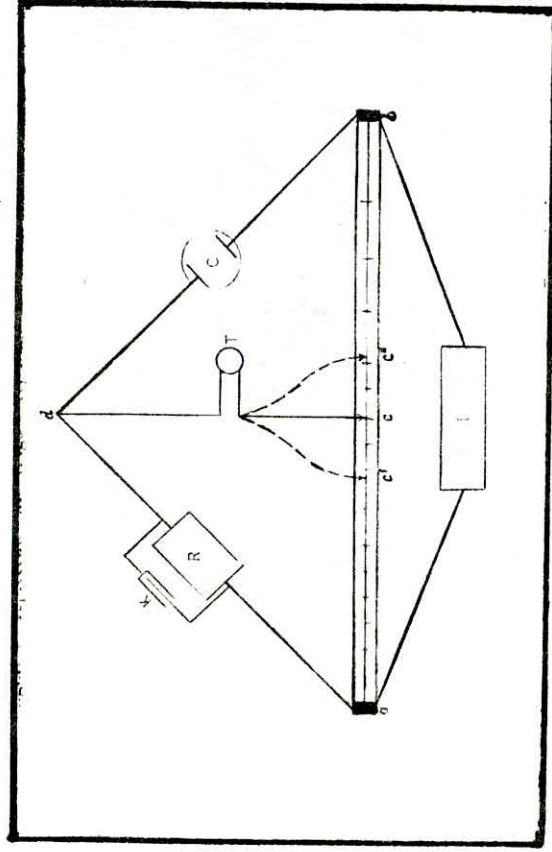


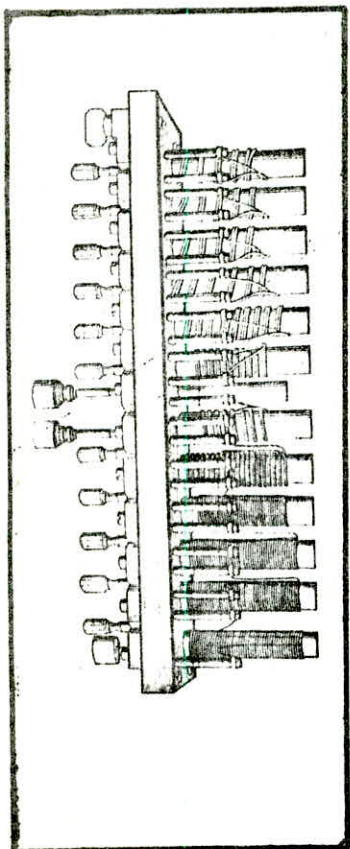
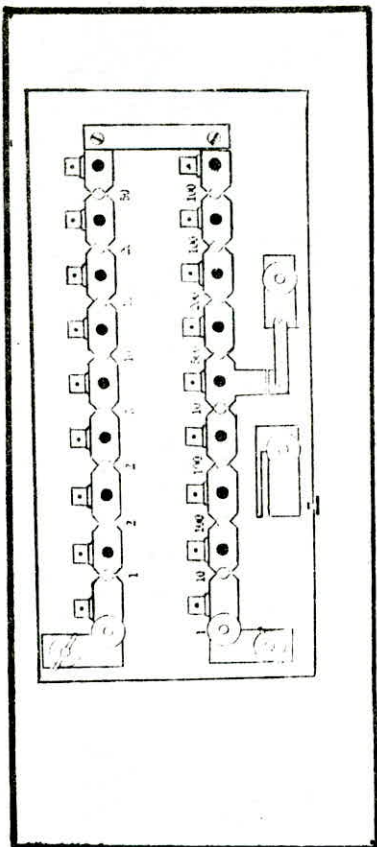
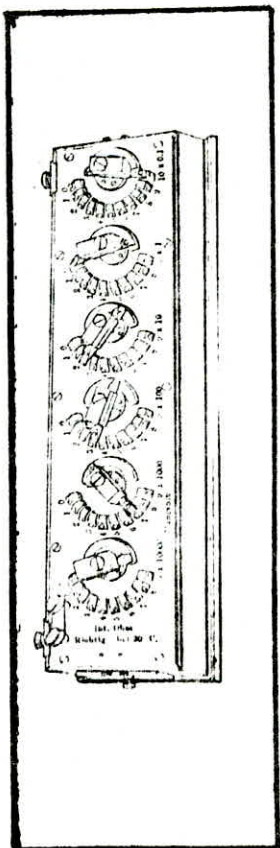
FIGURA 10

$$C = R (AB/AC)$$

EL TELÉFONO PUEDE SER REEMPLASADO POR UN GALVANÓMETRO DE CORRIENTE ALTERNA CUANDO NO SE REQUIERA UN ALTO GRADO DE OCURRENCIA, LA PROPIEDAD DE ÉSTE INSTRUMENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTANCIA ELECTRÓLITICA RECIENTEMENTE SE HA INVESTIGADO POR ÁTEM QUE ESTABLECIÓ QUE CON UNA SUFICIENCIA DE LA ALTA RESISTENCIA Y UTILIZANDO ELECTRODOS DE PLATINO EN LA CELDA QUE SE ENCUENTRE A LA VEZ PLATINIZADO, Y DE UNA SUPERFICIE ADECUADA CON OCURRENCIA DE 0.3 POR CIENTO, LOGRA RESULTADOS ALTAMENTE SATISFACTORIOS.

METODO DE LA RESISTENCIA VARIABLE

VARIAS FORMAS DE RESISTENCIA VARIABLE SE USAN EN LA MEDICIÓN DE LA CONDUCTANCIA. UN TIPO SIMPLE CONSISTE DE UN NÚMERO DE ALAMBRES QUE SE USAN COMO RESISTENCIAS COLOCADOS DENTRO DE UNA CAJA, LAS TERMINALES DE CADA ALAMBRE SE JUNTAN A UN BLOCK DE BRONCE DEL OTRO LADO DE LA CAJA LAS CONECCIONES ELÉCTRICAS ENTRE ESTOS Y EL BLOCK SON HECHOS CON TAPONES PEQUEÑOS DE BRONCE. CUANDO LOS TAPONES SE INCERTAN EN LA CAJA, LA RESISTENCIA DE LA CAJA ES CERO, ALGUNA RESISTENCIA DESEADA DEBERÁ SER PUESTA EN EL CIRCUITO PARA REMOVERLA CON EL PROPIO TAPÓN. EL VALOR DE LOS ALAMBRES INDIVIDUALES DE LA RESISTENCIA SE USAN DENTRO DE LOS LÍMITES, LA RESISTENCIA BUSCADA SE OBTIENE DENTRO DE LAS RESISTENCIAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS, EN LA FIGURA II, SE MUESTRAN LAS RESISTENCIAS DONDE LA CAJA



CONTIENE 6 O 10 ALAMBRES COMO RESISTENCIAS, CADA UNO DE LOS ARREGLOS SON PUESTOS EN LA CARA DEL RELOJ SEGÚN SEA EL ESTILO, EL VALOR DE CADA UNA DE LAS RESISTENCIAS EN UNA POSICIÓN EN PARTICULAR, Y UNO DE LOS VALORES DE CADA UNA DE LAS RESISTENCIAS EN LA POSICIÓN PROCEDENTE, LA MÁX GRANDE CANTIDAD DE UNIDADES ES DE 10,000 OHMIOS Y LA MÁX PEQUEÑA ES DE 0.1 OHMIO SE PERMITE EL USO DE ALGUNA RESISTENCIA ENTRE LOS 100,000 Y 0.10 OHMIOS, LA VENTAJA DE LAS RESISTENCIAS DE ESTE TIPO ES QUE PERMITEN UN MEJOR MANEJO RÁPIDO.

OTROS METODOS PARA LA DETERMINACION DE LA CONDUCTANCIA.

MÉTODOS NUEVOS DIFERENTES HAN SURGIDO RECIENTEMENTE -- PARA LA MEDICIÓN DE LA CONDUCTANCIA ELECTRÓLÍTICA, UN APARATO EMPLEADO PARA ÉSTA CUESTIÓN CONSISTE DE UNA FUENTE DE ALTA FRECUENCIA DE CORRIENTE ALTERNA I, UNA CELDA PARA CONDUCTANCIA, C, UNA RESISTENCIA VARIABLE, R, UN TELÉFONO T, Y -- TRES ESPIRALES DE ALAMBRE, P_1 , P_2 , S, ENREDADOS EN UN NÚC -- CLEO DE HIERRO, ESTE NÚCleo ESTÁ FORMADO DE DOS FIGURAS EN L JUNTADAS EN FORMA RECTANGULAR, Y P_1 Y P_2 SON ENREDADOS A LA VEZ EN UNA LADO GRANDE, S ESTÁ COMPUESTA DE TRES ESPIRALES DE ALAMBRE, CAPAZ DE AGRUPARSE VARIABLEMENTE, SE ENREDAN EN EL LADO APUESTO DEL RECTÁNGULO. LOS ESPIRALES DE ALAMBRE P_1 Y P_2 TIENEN EL MISMO COEFICIENTE DE AUTOINDICACIÓN Y RESISTENCIA. AL MISMO TIEMPO LOS TRES ESPIRALES DE ALAMBRE FORMAN UNA TRANSFORMACIÓN DIFERENCIAL CON LOS DOS CIRCUITOS PRIMARIOS Y UNO SECUNDARIO. LA CELDA PARA CONDUCTANCIA Y LA RESIS

TENCIA VARIABLE, USANDO SÓN COLOCADAS EN SERIE CON P_1 Y P_2 - RESPECTIVAMENTE, AMBAS CONECTADAS TAL QUE DEN PASO A I. CUAN DO R SE HACE IGUAL A LA RESISTENCIA DE LA CELDA PARA CONDUCTANCIA, LA FUERZA ELECTROMOTRIZ INDUCIDA EN S ES CERO Y EL - TELÉFONO PERMANECE EN SILENCIO. LA SENCIBILIDAD DEL MÉTODO - ES GRANDEMENTE INCREMENTADO POR EL USO DE UN AMPLIFICADOR

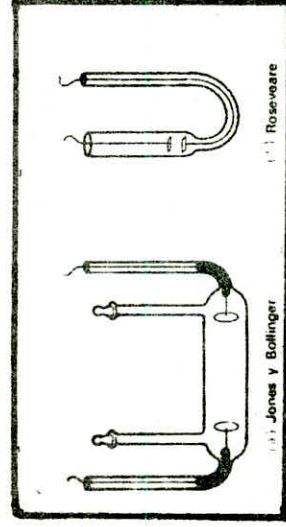
LA CONDUCTANCIA ELECTROLÍTICA DEBE SER TAMBIÉN MEDIDA POR OBSERVACIONES DE GOTEO ENTRE DOS PUNTOS DEL POTENCIAL - Y UN TUBO QUE CONTENGA LA SOLUCIÓN DURANTE EL PASO DE UNA -- CORRIENTE DIRECTA DE FUERZA DE CORRIENTE CONOCIDA.

CELDA DE CONDUCTIVIDAD

UN NÚMERO DE FORMAS DE CELDAS DE CONDUCTIVIDAD SE MUESTRAN EN LAS FIGURAS 12 A- E. LAS CELDAS GENERALMENTE SE -- CONSTRUYEN DE VIDRIO ALTAMENTE INSOLUBLE, TAL COMO JENA III O PYREX, O DE CUARZO, LOS ELECTRODOS DE PLATINO SERÁN GRUESOS Y BIEN ASEGURADOS DE MANERA QUE LA CONSTANTE DE LA CELDA NO CAMBIE CUANDO LA CELDA SE USE FRECUENTEMENTE.

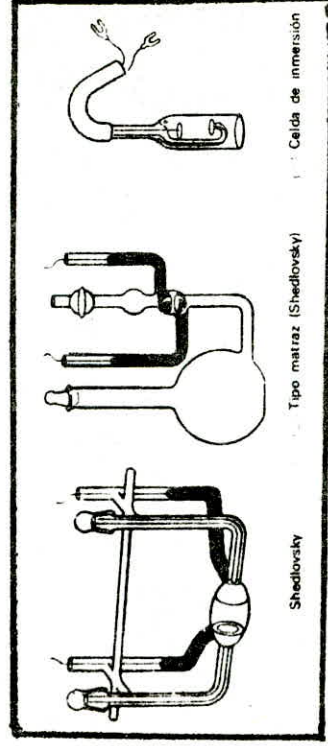
LA CELDA DE CONDUCTIVIDAD PARA UNA MEDICIÓN DADA SE -- SELECCIONARÁ CON UNA CONSTANTE DE CELDA APROPIADA, DE MANERA QUE LA RESISTENCIA NO DESIENDA MUY ABAJO DE LOS 1000 OHMIOS, DONDE SE ENCUENTRAN DIFICULTADES DE POLARIZACIÓN EXCESIVA -- CON EL APARATO USUAL, O ARRIBA DE 10 000 A 30 000 OHMIOS, -- DONDE SE ENCUENTRAN ERRORES DEBIDO A LA PÉRDIDA DE AISLAMIENTO. PARA SOLUCIONES DE CONDUCTANCIA BAJA LOS ELECTRODOS SERÁN GRANDES Y ESTRECHAMENTE JUNTOS. PARA SOLUCIONES DE CONDUCTANCIA ALTA, LOS ELECTRODOS SERÁN MÁS PEQUEÑOS Y MÁS ALEJADOS UNO DEL OTRO.

JONES Y BOLLINGER HAN DEMOSTRADO QUE EN MUCHAS CELDAS QUE SE HAN USADO COMÚNMENTE, LOS TUBOS DE LLENADO ESTÁN RELATIVAMENTE CERCANOS A LOS CONDUCTORES DE LOS ELECTRODOS, DE TAL MANERA QUE CORRIENTES PARÁSITAS PERTURBANTES PUEDEN -- FLUIR A TRAVÉS DE LAS LÍNEAS CAPASITANCIA-RESISTENCIA, Y ESTAS PUEDEN PRODUCIR VARIACIONES EN LA CONSTANTE DE LA CELDA CON LA RESISTENCIA. (FIGURA 12).



(a)

(b)



(c)

(d)

(e)

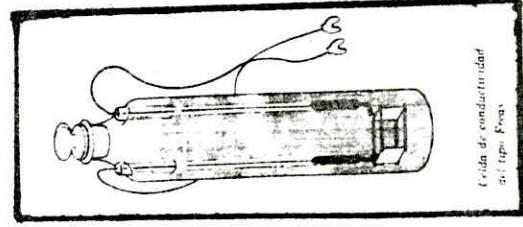


FIGURA 12

LA CELDA DISEÑADA POR JONES Y BOLLINGER SE MUESTRA EN LA FIGURA (A), LA CELDA DE ROSEVEARE FIGURA (B) CON LAS ESQUINAS DE LAS PLACAS DELGADAS DE PLATINO SOLDADAS EN EL VIDRIO, ES FÁCIL DE HACER, AL MEDIR LA CONDUCTIVIDAD DE LAS SOLUCIONES QUE MUESTRAN CUALQUIER TENDENCIA A HACER ESPUMA, ES DESEABLE UTILIZAR UNA CELDA CON ELECTRODOS CÓNICOS COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA (C) A TRAVÉS DE LA CUAL SE HACE FLUIR AL ELECTROLITO EN LA CELDA. LA CELDA TIPO MATRÁZ MOSTRADA EN LA FIGURA (D) ES ÚTIL PARA PREPARAR Y MEDIR LAS CONDUCTIVIDADES DE SOLUCIONES MUY DILUIDAS SON RIESGO DE CONTAMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS ATMOSFÉRICAS Y OTRAS IMPUREZAS, ÉSTAS DOS ÚLTIMAS SON DE SHEDLOVSKY. LA CELDA DE TIPO DE INMERSIÓN MOSTRADA EN LA FIGURA (E) NO ES ADECUADA PARA MEDICIONES PRECISAS, PERO A MENUDO ES ADECUADA PARA MEDICIONES PRÁCTICAS.

LA CELDA DE CONDUCTIVIDAD DEL TIPO FREAS ES PARTICULARMENTE PARA MEDICIONES DE CONDUCTIVIDAD, LAS CUATRO ESAQUINAS DE LOS DELGADOS CUADROS DE PLATINO ESTÁN EMPOTRADAS EN UN MARCO DE VIDRIO, LAS CELDAS SE LLENAN Y SE VACIAN CON FACILIDAD Y ES PEQUEÑO EL VOLUMEN DE LA SOLUCIÓN REQUERIDA, PARA TODAS LAS MEDICIONES DE CONDUCTIVIDAD LA CELDA SE SUMERGE EN UN TERMOSTATO, PREFERIBLEMENTE A 25°C REGULANDO A 0.02°C .

LA POLARIZACIÓN PRÁCTICAMENTE SE PUEDE ELIMINAR AL USAR UNA CORRIENTE ALTERNA DE ONDA SENOIDAL PRACTICAMENTE PURA, DE FRECUENCIA MODERADA Y AL CUBRIR LOS ELECTRODOS CON

POLVO DE PLATINO, LOS ELECTRODOS SE SUMERGEN EN UNA SOLUCIÓN QUE CONTENGA 3 GRAMOS DE CLORURO DE PLATINO Y 0.02 GRAMOS DE ACETATO DE PLOMO EN 100 ML DE AGUA Y CONECTADOS A DOS PILAS SECAS CONECTADAS EN SERIE. SE REGULA LA CORRIENTE POR MEDIO DE UN REÓSTATO DE TAL MANERA QUE SOLAMENTE SE DESPRENDA UNA PEQUEÑA CANTIDAD DE GAS, DESPUÉS QUE LOS ELECTRODOS SE CURAN CON NEGRO DE PLATINO, SE SACAN DE LA SOLUCIÓN Y SE LAVAN CUIDADOSAMENTE CON AGUA DESTILADA CUALQUIER TROZO DE CLORO ADSORBIDO DE LA SOLUCIÓN PARA EL RECUBRIMIENTO METÁLICO, SE PUEDE ELIMINAR AL CONTINUAR LA ELECTRÓLISIS. CON LAS MISMAS CONECCIONES, EN LA SOLUCIÓN DILUIDA DE ÁCIDO SULFÚRICO, EN MEDICIONES PRECISAS DE CONDUCTANCIA ELÉCTRICA, ES ESPECIALMENTE IMPORTANTE EXAMINAR LA POSIBILIDAD DE POLARIZACIÓN.

LA POLARIZACIÓN TIENE EL EFECTO DE AUMENTAR LA RESISTENCIA MEDIA Y EN GENERAL, ES MENOS IMPORTANTE A FRECUENCIAS ALTAS.

UNA CELDA CON ELECTRODOS PLATINIZADOS SIEMPRE LLENARÁ CON AGUA DESTILADA CUANDO SE GUARDE.

PARA TRABAJOS EN SOLUCIONES MUY DILUIDAS DEBE HACERSE CASO OMISO DE LA SUPERFICIE PLATINIZADA, PORQUE ES DIFÍCIL ELIMINAR POR LAVADO TROZOS DE ELECTROLITO DE DICHA SUPERFICIE. SE USAN LOS ELECTRODOS DE PLATINO BRILLANTE, PERO PUESTO QUE RESULTA ALGO DE POLARIZACIÓN, ES NECESARIO REALIZAR MEDICIONES A VARIAS FRECUENCIAS Y EXTRAPOLAR LOS VALORES A

FRECUENCIA INFINITA.

AGUA PARA CONDUCTANCIA

EN TODAS LAS MEDICIONES DE CONDUCTANCIA REALIZADAS EN SOLUCIÓN ACUOSA ES NECESARIO DISPONER DE AGUA PURA, LA DESTILACIÓN EN UN RECIPIENTE DE VIDRIO TEMPLADO Y CONDENSADOR CON UNIONES DE VIDRIO ESMERILADO O CON UN CONDENSADOR CON COMPARTIMIENTO DE ESTAÑO PUEDE PRODUCIR AGUA CON UNA CONDUCTANCIA ESPECÍFICA DE ALREDEDOR DE $1.0 \times 10^{-6} \text{ OHM}^{-1} \text{ CM}$ SI SE AGREGA UN POCO DE PERMANGANATO DE POTACIO AL MATRÁZ, SI DICHA DESTILACIÓN SE LLEVA A CABO EN AIRE, SE SATURA EL AGUA CON DIÓXIDO DE CARBONO DISOLVIENDO, PARA DAR UNA RESISTENCIA MÁS ALTA, AL BURBUJEAR AIRE LIBRE DE DIÓXIDO DE CARBONO AL AGUA.

ES INTERESANTE OBSERVAR QUE KOHLRAUSCH Y HOLBORN INFORMARON DE LA PREPARACIÓN DE AGUA PURIFICADA AL REDESTILAR -- AGUA DESTILADA Y CONDENSAR EN UN CONDENSADOR DE COMPARTIMIENTO DE ESTAÑO, AL CONDENSAR AGUA A TEMPERATURA RELATIVAMENTE ALTAS SE REDUCE LA ABSORCIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO.

EXPERIMENTO: MEDICIONES DE CONDUCTIVIDAD

APARATOS: CONJUNTO DEL PRINCIPIO DEL PUENTE DE WHEATSTONE, CELDA DE CONDUCTIVIDAD, AGUA PARA CONDUCTIVIDAD, SOLUCIÓN -- O.I. DE ÁCIDO CLORHÍDRICO, TERMOSTATO A 25°C, MATRACES AFORADOS, PIPETA, PROBETA DE 100 ML, SOLUCIÓN 0.02 N DE CLORURO - DE POTASIO.

PROCEDIMIENTO: EL CONJUNTO DE CONDUCTIVIDAD PARA ESTE EXPERIMENTO CONSISTE EN UN PUENTE DE WHEATSTONE Y LUZ PILOTO PARA SER UTILIZADO CON CORRIENTE ALTERNA. EL BALANCEO DEL PUENTE SE LOGRA FIJANDO LAS RESISTENCIAS QUE COMPONEN EL CONJUNTO Y BALANCEANDO POR ÚLTIMO LA RESISTENCIA VARIABLE CON AYUDA DE LAS PINZAS DE COCODRILO HASTA QUE LA LUZ DEL FOCO SEA NULA, LO QUE SIGNIFICA QUE NO HAY NINGÚN FLUJO DE CORRIENTE POR LA RAMA QUE CONTIENE LA LUZ PILOTO. EN SEGUIDA LEEMOS EL VALOR QUE NOS DA LA RESISTENCIA, Y LOS VALORES QUE HAY EN LA RESISTENCIA VARIABLE, Y OBTENEMOS EL VALOR DE LA RESISTENCIA A CONOCER POR MEDIO DE LA ECUACIÓN, $R_x = (R_2/R_1)R_3$, LA RELACIÓN R_2/R_1 ES EL VALOR DE LA RESISTENCIA VARIABLE, LA FORMA DE LEERLO SE ENCUENTRA SEÑALADA EN EL EQUIPO.

- I) LA CELDA DEBE ESTAR BIEN LIMPIA Y DEBE SER ENJUAGADA CON AGUA DE CONDUCTIVIDAD TENIENDO CUIDADO CON LOS ELECTRODOS, SE LLENA CON AGUA PARA CONDUCTIVIDAD Y SE INSPECCIONA, PARA ESTAR SEGUROS DE QUE NO HAY BURBUJAS DE AIRE EN LOS -- ELECTRODOS LA CANTIDAD DE SOLUCIÓN SE MIDE EN LA PROBETA

EXACTAMENTE 82 ML. PROCEDEMOS A MEDIR SU RESISTENCIA.

- 2) SE LAVA, VUELVE A LLENARSE Y LA RESISTENCIA SE MIDE NUEVAMENTE, ESTE PROCESO SE REPITE HASTA QUE LA RESISTENCIA -- LLEGA A SER ESENCIALMENTE CONSTANTE, MOSTRANDO QUE SE HAN ELIMINADO POR LAVADO LOS ELECTRÓLITOS QUE CONTAMINABAN LA CELDA. LA RESISTENCIA DE LA CELDA NO VOLVERÁ A SER ABSOLUTAMENTE CONSTANTE, PORQUE EL AGUA DE CONDUCTIVIDAD ES MUY PURA Y TRAZAS DE ELECTRÓLITO QUE SON INSIGNIFICANTES EN LAS ÚLTIMAS MEDICIONES PRODUCIRÁN DESVIACIONES OBSERVABLES. LA CONDUCTIVIDAD ESPECÍFICA DEL AGUA UTILIZADA SERÁ APROXIMADAMENTE DE 5×10^6 OHMIO CM^{-1} O MENOR, CORRESPONDIENTE A UNA RESISTENCIA DE 200.000 OHMIOS O MÁS EN UNA CELDA DE UNIDAD DE CELDA CONSTANTE.

CUANDO LA CELDA ESTÁ LIMPIA, COMO LO MUESTRA UNA ALTA RESISTENCIA RAZONABLEMENTE CONSTANTE CON EL AGUA PARA CONDUCTIVIDAD, SE LAVA DOS O TRES VECES CON UNA SOLUCIÓN 0.02 N DE CLORURO DE POTASIO, Y EN SEGUIDA SE ESTABLECE LA RESISTENCIA, ESTANDO LA CELDA LLENA CON 82 ML DE ESA SOLUCIÓN. SE HACEN MEDICIONES ADICIONALES CON MUESTRAS FRESCAS DE LA MISMA, HASTA QUE VARIAS DETERMINACIONES SUCEсивAS CONCUERDAN MUY DE CERCA. EL PROPÓSITO DE TALES MEDICIONES ES PROPORCIONAR DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA CONSTANTE DE LA CELDA.

LA CELDA SE VACÍA Y SE LAVA CON LA SIGUIENTE SOLUCIÓN A LA CUAL SE LE VA A MEDIR LA CONDUCTIVIDAD, ES ACONSEJABLE

EFFECTUAR EVALUACIONES DE VERIFICACIÓN SOBRE CADA SOLUCIÓN PARA ESTAR SEGUROS DE QUE LA CELDA HA SIDO LAVADA TOTALMENTE.

ENTONCES SE MIDE LA CONDUCTIVIDAD DE LAS SOLUCIONES DE ÁCIDO CLORHÍDRICO A LAS CONCENTRACIONES DE 0.1, 0.05, 0.025, 0.0125, 0.00625, 0.00312 Y 0.00156 N. DEBERÁ PREPARARSE SUFICIENTE CANTIDAD DE LAS SOLUCIONES 0.1 Y 0.05 N PARA USARLAS EN LAS DILUCIONES SUCEASIVAS, LAS CUALES DEBEN HACERSE CON - GRAN CUIDADO DE LO CONTRARIO EL ERROR PROPAGADO SERÍA EXCESIVO.

P A R T E I I I

CELDAS ELECTROQUIMICAS Y
ELECTRODEPOSITACION .

CELDA ELECTROQUIMICAS

LAS CELDAS ELCTROQUÍMICAS SE USAN PRINCIPALMENTE CON -
DOS FINES:

- A) CONVERTIR LA ENERGÍA QUÍMICA EN ELÉCTRICA.
- B) CONVERTIR LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN QUÍMICA.

EN LAS PILAS SECAS COMUNES Y EN EL ACUMULADOR DE PLOMO TENEMOS CONVERTIDORES DE ENERGÍA QUÍMICA EN ELÉCTRICA, MIEN-
TRAS QUE EN LA CARGA DE LA BATERÍA DE ALMACENAMIENTO Y EN LA PURIFICACIÓN ELECTROLÍTICA DEL COBRE SE UTILIZA LA ENERGÍA -
ELÉCTRICA PARA REALIZAR UNA ACCIÓN QUÍMICA.

DIFERENCIA ENTRE CELDA Y BATERIA

LA CELDA ES UN DISPOSITIVO SIMPLE DE DOS ELECTRODOS Y UN ELECTRÓLITO CAPAZ DE DAR ELECTRICIDAD POR LA ACCIÓN QUÍ-
MICA DENTRO DE LA CELDA O DE PRODUCIR UNA ACCIÓN QUÍMICA POR EL PASO DE ELECTRICIDAD A SU TRAVÉS.

LA BATERÍA ES UNA COMBINACIÓN DE DOS O MÁS CELDAS DIS-
PUESTAS EN SERIE O EN PARALELO, ASÍ UN ACUMULADOR DE PLOMO ES UNA BATERÍA CONSTITUIDA POR TRES CELDAS CONECTADAS EN SE-
RIE.

CELDA REVERSIBLES E IRREVERSIBLES.

AL TRATAR CON LAS RELACIONES DE ENERGÍA DE LAS CELDAS,
LOS PRINCIPIOS TERMODINÁMICAS ENCUENTRAN UNA APLICACIÓN MUY

EXTENSA, EL USO DE ESTOS PRINCIPIOS SE ENCUENTRAN SOMETIDOS A UNA RESTRICCIÓN MUY IMPORTANTE, ESTO SON APLICADOS A LOS PROCESOS REVERSIBLES, SE TENDRÁ EN CUENTA QUE LAS CONDICIONES DE REVERSIBILIDAD TERMODINÁMICA SON:

- A) LAS FUERZAS MOTRICES Y DE OPERACIÓN SE DIFERENCIAN INFINITÉSIMAMENTE ENTRE SÍ.
- B) DEBE SER POSIBLE INVERTIR CUALQUIER CAMBIO POR APLICACIÓN DE UNA FUERZA INFINITAMENTE MAYOR QUE LA QUE ESTÁ ACTUANDO.

SATISFECHOS ESTOS DOS PROBLEMAS, LAS CELDAS SON REVERSIBLES, Y LA DIFERENCIA DE POTENCIAL BAJO CONDICIONES ADECUADAS PUEDEN REEMPLAZARSE EN LAS ECUACIONES TERMODINÁMICAS FUNDAMENTALES. SI LAS CONDICIONES ANTERIORES NO SE SATISFACEN, LAS CELDAS SON IRREVERSIBLES, Y NO SE APLICAN LAS ECUACIONES TERMODINÁMICAS.

FUERZAS ELECTROMOTRICES Y SU MEDICION

LA DIFERENCIA DE POTENCIAL QUE ORIGINA EL FLUJO DE CORRIENTE DESDE UN ELECTRODO DE POTENCIA MÁS NEGATIVO A OTRO DE MENOR SE DENOMINA FUERZA ELECTROMOTRIZ DE LA CELDA Y SE ABREVIA FEM Y SE EXPRESA EN VOLTIOS.

EL MÉTODO MÁS COMÚN DE DETERMINAR LA DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE DOS PUNTOS CUALESQUIERA EN UN CIRCUITO ELÉCTRICO ES EL DE CONECTAR UN VOLTÍMETRO ENTRE ELLOS, LEYÉNDOSE DI

RECTAMENTE EL VOLTAJE CON EL INSTRUMENTO, PERO EL USO DEL -- VOLTÍMETRO PARA LA MEDICIÓN EXACTA DE LOS POTENCIALES DE LA CELDA, ES QUE EL APARATO CONSUME ALGUNA CORRIENTE, PROVOCANDO ASÍ UN CAMBIO EN LA FEM A CAUSA DE LA FORMACIÓN DE PRODUCTOS DE REACCIÓN EN LOS ELECTRODOS Y CAMBIOS EN LA CONCENTRACIÓN DEL ELECTRÓLITO ALREDEDOR DE LOS ELECTRODOS, DE NUEVO -- CON UN FLUJO DE CORRIENTE APRECIABLE PARTE DE LA FUERZA ELECTROMOTRIZ TENDRÁ QUE UTILIZARSE PARA VENCER LA RESISTENCIA -- INTERNA DE LA CELDA, POR LO CUAL EL POTENCIAL MEDIDO CON EL VOLTÍMETRO NO SERÁ EL TOTAL DE LA CELDA. POR LO CUAL LAS MEDICIONES SERÁN CON UN POTENCIOMETRO QUE REQUIEREN CORRIENTES DE COMPENSACIÓN EXTRAORDINARIAMENTE BAJAS.

POTENCIALES ELECTRODICOS SIMPLES.

PARA DETERMINAR DIRECTAMENTE LAS POTENCIALES DE LOS -- ELECTRODOS SIMPLES SERÍA PRECISO ACOPLARLOS CON UNO DE VALOR CERO, PERO COMO NO SE CONOCE A NINGUNO CON TAL POTENCIAL DEBEMOS ESTABLECER ARBITRARIAMENTE UN ELECTRODO TIPO AL CUAL -- PODAMOS REFERIR LOS DEMÁS. POR ESTA RAZÓN DEFINIMOS COMO -- FUERZA ELECTROMOTRÍZ DE REFERENCIA LA DEL ELECTRODO DE HIDRÓGENO CUYO POTENCIAL ES CERO A CUALQUIER TEMPERATURA.

EL ELECTRODO DE HIDRÓGENO ESTÁ CONSTITUIDO POR UNA PIEZA DE PLATINO RODEADA POR GAS HIDRÓGENO A LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA Y SUMERGIDO EN UNA SOLUCIÓN DE IONES CUYA ACTIVIDAD ES LA UNIDAD.

Potenciales del electrodo de referencia*

Electrodo	Reacción	E°, V contra SHE
F ₂ /F	F ₂ + 2e ⁻ → 2F ⁻	+2.65
Co ³⁺ /Co ²⁺ , Pt	Co ³⁺ + e ⁻ → Co ²⁺	+1.82
Au ³⁺ /Au	Au ³⁺ + 3e ⁻ → Au	+1.68
Co ²⁺ /Co ³⁺ , Pt	Co ²⁺ + e ⁻ → Co ³⁺	+1.61
MnO ₄ ⁻ /Mn ²⁺ , Pt	MnO ₄ ⁻ + 8H ⁺ + 5e ⁻ → Mn ²⁺ + 4H ₂ O	+1.51
As ³⁺ /As	As ³⁺ + 3e ⁻ → As	+1.50
Cl ₂ /Cl	Cl ₂ + 2e ⁻ → 2Cl ⁻	+1.360
Cr ₂ O ₇ ²⁻ /Cr ³⁺ , Pt	Cr ₂ O ₇ ²⁻ + 14H ⁺ + 6e ⁻ → 2Cr ³⁺ + 7H ₂ O	+1.33
Ti ³⁺ /Ti ²⁺ , Pt	Ti ³⁺ + e ⁻ → Ti ²⁺	+1.25
O ₂ /H ₂ O	O ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻ → 2H ₂ O	+1.229
Pb ²⁺ /Pb	Pb ²⁺ + 2e ⁻ → Pb	+1.2
Br ₂ /Br	Br ₂ (l) + 2e ⁻ → 2Br ⁻	+1.065
Hg ²⁺ /Hg ²⁺ , Pt	2Hg ²⁺ + 2e ⁻ → Hg ₂ ²⁺	+0.920
Ag ⁺ /Ag	Ag ⁺ + e ⁻ → Ag	+0.799
Hg ₂ ²⁺ /Hg	Hg ₂ ²⁺ + 2e ⁻ → 2Hg	+0.789
Fe ³⁺ /Fe ²⁺ , Pt	Fe ³⁺ + e ⁻ → Fe ²⁺	+0.771
Ag ₂ SO ₄ /Ag	Ag ₂ SO ₄ + 2e ⁻ → 2Ag + SO ₄ ²⁻	+0.653
AgCl/Hg ₂ Cl ₂ /Ag	AgCl/Hg ₂ Cl ₂ + e ⁻ → Ag + Cl ⁻ + Hg ₂ Cl ₂	+0.643
I ₂ /I	I ₂ + 2e ⁻ → 2I ⁻	+0.536
Cu ²⁺ /Cu	Cu ²⁺ + 2e ⁻ → Cu	+0.521
Ag ₂ CrO ₄ /Ag	Ag ₂ CrO ₄ + 2e ⁻ → 2Ag + CrO ₄ ²⁻	+0.446
VO ²⁺ /V ³⁺ , Pt	VO ²⁺ + 2H ⁺ + e ⁻ → V ³⁺ + H ₂ O	+0.361
Fe(CN) ₆ ³⁻ /Fe(CN) ₆ ⁴⁻ , Pt	Fe(CN) ₆ ³⁻ + e ⁻ → Fe(CN) ₆ ⁴⁻	+0.36
Cu ⁺ /Cu	Cu ⁺ + e ⁻ → Cu	+0.337
Fe ³⁺ /Fe ²⁺ , Pt	Fe ³⁺ + e ⁻ → Fe ²⁺	+0.333
Hg ₂ Cl ₂ /Hg	Hg ₂ Cl ₂ + 2e ⁻ → 2Hg + 2Cl ⁻	+0.268
AgCl/Ag	AgCl + e ⁻ → Ag + Cl ⁻	+0.222
HgBr ₂ /Hg	HgBr ₂ + 2e ⁻ → Hg + 2Br ⁻	+0.21
Cu ²⁺ /Cu ⁺ , Pt	Cu ²⁺ + e ⁻ → Cu ⁺	+0.153
Sn ⁴⁺ /Sn ²⁺ , Pt	Sn ⁴⁺ + 2e ⁻ → Sn ²⁺	+0.15
Hg ₂ Br ₂ /Hg	Hg ₂ Br ₂ + 2e ⁻ → 2Hg + 2Br ⁻	+0.140
Cu ⁺ /Cu	Cu ⁺ + e ⁻ → Cu	+0.137
Fe ³⁺ /Fe ²⁺ , Pt	Fe ³⁺ + e ⁻ → Fe ²⁺	+0.1
AgBr/Ag	AgBr + e ⁻ → Ag + Br ⁻	+0.066
Fe ³⁺ /Fe ²⁺ , Pt	Fe ³⁺ + e ⁻ → Fe ²⁺	+0.0

Potenciales del electrodo de referencia* (Continuación)

Electrodo	Reacción	E°, V contra NHE
CuBr/Cu	CuBr + e ⁻ → Cu + Br ⁻	+0.633
H ⁺ /H ₂	2H ⁺ + 2e ⁻ → H ₂	0.000
HgI ₂ ²⁺ /Hg	HgI ₂ ²⁺ + 2e ⁻ → Hg + 4I ⁻	-0.04
Pb ²⁺ /Pb	Pb ²⁺ + 2e ⁻ → Pb	-0.126
Sn ²⁺ /Sn	Sn ²⁺ + 2e ⁻ → Sn	-0.136
AgI/Ag	AgI + e ⁻ → Ag + I ⁻	-0.151
CuI/Cu	CuI + e ⁻ → Cu + I ⁻	-0.185
Mo ³⁺ /Mo	Mo ³⁺ + 3e ⁻ → Mo	-0.2
Ni ²⁺ /Ni	Ni ²⁺ + 2e ⁻ → Ni	-0.250
V ³⁺ /V ²⁺ , Pt	V ³⁺ + e ⁻ → V ²⁺	-0.255
PbCl ₂ /Pb	PbCl ₂ + 2e ⁻ → Pb + 2Cl ⁻	-0.268
Co ³⁺ /Co	Co ³⁺ + 2e ⁻ → Co	-0.277
PbBr ₂ /Pb	PbBr ₂ + 2e ⁻ → Pb + 2Br ⁻	-0.280
Ti ²⁺ /Ti	Ti ²⁺ + 2e ⁻ → Ti	-0.336
PbSO ₄ /Pb	PbSO ₄ + 2e ⁻ → Pb + SO ₄ ²⁻	-0.356
PbI ₂ /Pb	PbI ₂ + 2e ⁻ → Pb + 2I ⁻	-0.365
Ti ³⁺ /Ti ²⁺ , Pt	Ti ³⁺ + e ⁻ → Ti ²⁺	-0.37
Cd ²⁺ /Cd	Cd ²⁺ + 2e ⁻ → Cd	-0.403
Cr ³⁺ /Cr ²⁺ , Pt	Cr ³⁺ + e ⁻ → Cr ²⁺	-0.41
Fe ²⁺ /Fe	Fe ²⁺ + 2e ⁻ → Fe	-0.440
Ga ³⁺ /Ga	Ga ³⁺ + 3e ⁻ → Ga	-0.53
TiCl ₃ /Ti	TiCl ₃ + e ⁻ → Ti + Cl ⁻	-0.557
U ³⁺ /U ²⁺ , Pt	U ³⁺ + e ⁻ → U ²⁺	-0.61
TlBr ₂ /Tl	TlBr ₂ + e ⁻ → Tl + Br ⁻	-0.658
Cr ²⁺ /Cr	Cr ²⁺ + 3e ⁻ → Cr	-0.74
Tl ⁺ /Tl	Tl ⁺ + e ⁻ → Tl	-0.753
Zn ²⁺ /Zn	Zn ²⁺ + 2e ⁻ → Zn	-0.763
TiO ²⁺ /Ti	TiO ²⁺ + 2H ⁺ + 4e ⁻ → Ti + H ₂ O	-0.80
Mn ²⁺ /Mn	Mn ²⁺ + 2e ⁻ → Mn	-1.18
V ³⁺ /V	V ³⁺ + 2e ⁻ → V	-1.18
Ti ²⁺ /Ti	Ti ²⁺ + 2e ⁻ → Ti	-1.63
Al ³⁺ /Al	Al ³⁺ + 3e ⁻ → Al	-1.66
U ³⁺ /U	U ³⁺ + 3e ⁻ → U	-1.80
Be ²⁺ /Be	Be ²⁺ + 2e ⁻ → Be	-1.85
Np ²⁺ /Np	Np ²⁺ + 3e ⁻ → Np	-1.86
Th ³⁺ /Th	Th ³⁺ + 4e ⁻ → Th	-1.90
Pu ³⁺ /Pu	Pu ³⁺ + 3e ⁻ → Pu	-2.07
AlF ₃ ³⁻ /Al	AlF ₃ ³⁻ + 3e ⁻ → Al + 6F ⁻	-2.07
Mg ²⁺ /Mg	Mg ²⁺ + 2e ⁻ → Mg	-2.37
Ce ³⁺ /Ce	Ce ³⁺ + 3e ⁻ → Ce	-2.48
La ³⁺ /La	La ³⁺ + 3e ⁻ → La	-2.52
Na ⁺ /Na	Na ⁺ + e ⁻ → Na	-2.714
Ca ²⁺ /Ca	Ca ²⁺ + 2e ⁻ → Ca	-2.87
Sr ²⁺ /Sr	Sr ²⁺ + 2e ⁻ → Sr	-2.89
Ba ²⁺ /Ba	Ba ²⁺ + 2e ⁻ → Ba	-2.90
K ⁺ /K	K ⁺ + e ⁻ → K	-2.925
Li ⁺ /Li	Li ⁺ + e ⁻ → Li	-3.045

* De W. M. Latimer, "Oxidation States of the Elements, and Their Potentials in Aqueous Solution", 2a. ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1952.

POR LAS DIFICULTADES EXPERIMENTALES QUE PRESENTA, SE HAN TOMADO EN CUENTA LOS ELECTRODOS SECUNDARIOS DE REFERENCIA COMO LO SON LOS TRES DE CALOMEL 0.1, 1 N Y EL DE CALOMEL SATURADO LOS CUALES SE MUESTRAN EN LA TABLA SIGUIENTE.

Electrodo	Símbolo	F.E.M.	$\epsilon_{25^\circ\text{C}}$	Reacción
Calomel 0.1 N	$\text{Hg} \text{Hg}_2\text{Cl}_2(s), \epsilon = 0.3338 - 7 \times 10^{-5}(t - 25)$ $\text{KCl}(0.1 N)$		0.3338	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2(s) + 2 \ominus = 2 \text{Hg}(l) + 2 \text{Cl}^-(0.1 N)$
Calomel 1 N	$\text{Hg} \text{Hg}_2\text{Cl}_2(s), \epsilon = 0.2800 - 2.4 \times 10^{-4}(t - 25)$ $\text{KCl}(1 N)$		0.2800	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2(s) + 2 \ominus = 2 \text{Hg}(l) + 2 \text{Cl}^-(1 N)$
Calomelano saturado	$\text{Hg} \text{Hg}_2\text{Cl}_2(s), \epsilon = 0.2415 - 7.6 \times 10^{-4}(t - 25)$ $\text{KCl}(\text{sat'd.})$		0.2415	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2(s) + 2 \ominus = 2 \text{Hg}(l) + 2 \text{Cl}^-(\text{sat'd.})$

REGLAS RESPECTO A LAS REACCIONES Y FUERZA ELECTROMOTRICES DE LAS CELDAS.

- 1.- CUALQUIER REACCIÓN DE UNA CELDA ES LA SUMA DE LA DE LOS ELECTRODOS SIMPLES COMO TIENEN LUGAR EN ELLOS.
 - A) EN EL ELECTRODO NEGATIVO LA REACCIÓN ES UNA OXIDACIÓN
 - B) EN EL ELECTRODO POSITIVO LA REACCIÓN ES UNA REDUCCIÓN.
- 2.- LA FEM TOTAL DE LA CELDA ES LA SUMA ALGEBRAICA DE LOS POTENCIALES ELECTRÓDICOS SIMPLES CON TAL QUE CADA FEM VAYA CON EL SIGNO CORRESPONDIENTE A LA REACCIÓN, EN LA FORMA QUE TIENE LUGAR EN CADA ELECTRODO.
- 3.- SI SE ESCRIBE UNA CELDA CUALQUIERA CON EL ELECTRODO NEGATIVO EN EL LADO IZQUIERDO, DE MANERA QUE LOS ELECTRODOS FLUYEN POR EL CIRCUITO EXTERNO DESDE LA IZQUIERDA A LA -

DERECHA, LA REACCIÓN DE LA CELDA DEDUCIDA POR LA REGLA - (1) SERÁ LA DE UN PROCESO EXPONTÁNEO Y LA FEM DEDUCIDA - POR LA REGLA (2) PARA LA CELDA SERÁ POSITIVA.

- 4.- SI HACEMOS UNA SUPOSICIÓN FALSA RESPECTO A LA POLARIDAD DE LOS ELECTRODOS, LA REGLA (3) DARÁ UNA FEM NEGATIVA -- QUE CORRESPONDE A UNA REACCIÓN NO EXPONTÁNEA. PARA OBTENER LA REACCIÓN EXPONTÁNEA Y SU FEM, TODO LO QUE SE PRECISA HACER ES INVERTIR LA REACCIÓN U CAMBIAR EL SIGNO DE LA FEM SIN CAMBIAR SU MAGNITUD.

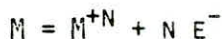
CLASIFICACION DE ELECTRODOS

EN EL TRABAJO ELECTROQUÍMICO LAS CELDAS DE QUE SE DISPONE COMPRENDEN DIVERSOS ELECTRODOS SEGÚN EL PROPÓSITO QUE SE PRETENDE. LOS GRUPOS QUE MÁS IMPORTANCIA TIENEN SON LOS SIGUIENTES:

- 1.- ELECTRODOS DE METAL-IÓN METÁLICO.
- 2.- ELECTRODOS DE AMALGAMA.
- 3.- ELECTRODOS DE GAS.
- 4.- ELECTRODOS DE METAL-SAL INSOLUBLE.
- 5.- ELECTRODOS DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN

ELECTRODOS DE METAL-ION METALICO

EN ESTE GRUPO SE CLASIFICAN AQUELLOS ELECTRODOS DE UN METAL EN EQUILIBRIO CON UNA SOLUCIÓN DE SUS IONES, COMO EJEMPLO TENEMOS EL DE COBRE, CINC, CADMIO, SODIO, TODOS ELLOS -- OPERAN SEGÚN LA REACCIÓN GENERAL:



PARA LOS CUALES LA ECUACIÓN DEL POTENCIAL ELECTRÓDICO ESTÁ DADA POR:

$$E_M = E_M^0 - \frac{RT}{nF} \ln A_M^{+N}$$

CADA UNO DE ESTOS ELECTRODOS ES REVERSIBLE RESPECTO A SUS PROPIOS IONES, ES DECIR SU POTENCIAL ES SENSIBLE Y CON-

DICIONADO A LAS ACTIVIDADES DE SUS IONES EN SOLUCIÓN DONDE SE ENCUENTRAN INMERSOS. ASÍ, EL ELECTRODO DE CINC ES REVERSIBLE A LOS IONES CINC, EL DE HIERRO A LOS FERROSOS, ETC.

ELECTRODOS DE AMALGAMA

ES PRÁCTICA USUAL SUSTITUIR A LOS METALES PUROS POR -- SUS AMALGAMAS LOS CUALES ALCANZARN EL EQUILIBRIO MÁS RAPIDAMENTE QUE LOS ELECTRODOS DE METAL PURO, Y POR LO CUAL TAMBIÉN SON RÁPIDAMENTE REVERSIBLES. LA ÚNICA DIFERENCIA ES QUE LA ACTIVIDAD DEL METAL DISMINUYE POR LA DILUCIÓN DEL MERCURIO. EXISTEN TODAVÍA OTRO FACTOR QUE FAVORECE EL EMPLEO DE -- AMALGAMAS Y ES QUE LAS IMPUREZAS CAUSAN UNA CONDUCTA IMPREDESIBLE EN EL CASO DE LOS METALES PUROS INCLUSO POR LA AMALGAMACIÓN PARA DAR RESULTADOS SATISFACTORIOS Y REPRODUCIBLES.

COMO EJEMPLO DE LOS ELECTRODOS DE ESTA NATURALEZA PODEMOS SEÑALAR A LA AMALGAMA DE PLOMO, CONSTITUIDA POR AMALGAMA DE ESTE ELEMENTO QUE SE REPRESENTA POR LA ESCRITURA $Pb(Hg)$, SUMERGIDA EN UNA SOLUCIÓN DE IONES PLUMBOSO, ESTO ES $Pb(Hg) Pb(A_{Pb})$. SU POTENCIAL ESTÁ REPRESENTADO DE LA SIGUIENTE MANERA.

$$E_A = E_A^0 - \frac{RT}{nF} \ln A_{Pb^{++}}$$

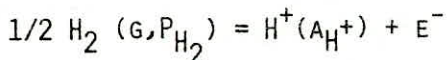
ELECTRODOS DE GAS

ESTOS CONSISTEN EN UN GAS QUE BURBUJEA ALREDEDOR DE UN ALAMBRE U HOJA DE METAL INERTE EN UNA SOLUCIÓN QUE CONTIENE

IONES, A LOS CUALES EL GAS ES REVERSIBLE, LA FUNCIÓN DE ESTE METAL QUE ORDINARIAMENTE ES PLATINO PLATINADO, ES FACILITAR EL ESTABLECIMIENTO DEL EQUILIBRIO ENTRE EL GAS Y SUS IONES, Y SERVIR DE CONTACTO ELÉCTRICO DEL ELECTRODO.

EN ÉSTE TIPO DE ELECTRODOS SE ENCUENTRA EL DEL GAS DE HIDRÓGENO REVERSIBLE A LOS IONES HIDRÓGENOS, EL DE CLORO REVERSIBLE A SUS IONES, Y EL ELECTRODO DE OXÍGENO, CUYA FUERZA ELECTROMOTRÍZ DEPENDE DE LA ACTIVIDAD DE LOS IONES OXHIDRILO.

LA REACCIÓN FUNDAMENTAL DEL ELECTRODO DE HIDRÓGENO ES:



COMO LA ACTIVIDAD DEL GAS DE HIDRÓGENO ES IGUAL A LA PRESIÓN P_{H_2} EL ATMÓSFERA, CUANDO ÉSTA ES BAJA, EL POTENCIAL DEL ELECTRODO SIMPLE DE ÉSTE ELEMENTO ESTÉ DETERMINADO TANTO POR SU PRESIÓN ALREDEDOR DEL ELECTRODO, COMO DE LA ACTIVIDAD DE LOS IONES HIDRÓGENO EN LA SOLUCIÓN, ESTO ES

$$E_{\text{H}_2} = E_{\text{H}_2}^0 - \frac{RT}{F} \ln \frac{A_{\text{H}^+}}{P_{\text{H}_2}^{1/2}}$$

PERO $E_{\text{H}_2}^0$, ESTO ES, LA FEM DEL ELECTRODO DE HIDRÓGENO A LA PRESIÓN DE UNA ATMÓSFERA Y LA ACTIVIDAD LA UNIDAD DE SUS IONES, SIRVE DE REFERENCIA EN LAS MEDICIONES DE LA FEM DE TODOS LOS

ELECTRODOS SIMPLES Y SE HACE POR DEFINICIÓN IGUAL A CERO A CUALQUIER TEMPERATURA, POR LO CUAL:

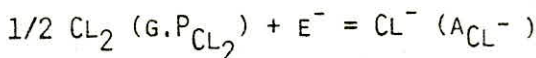
$$E_{H_2} = - \frac{RT}{F} \ln \frac{A_{H^+}}{P_{H_2}^{1/2}}$$

CUANDO LA PRESIÓN DE HIDRÓGENO ES 1 ATMÓSFERA SE CUELVE $P_{H_2} = 1$ POR LO CUAL,

$$E_{H_2} = - \frac{RT}{F} \ln A_{H^+}$$

Y EL ELECTRODO DE HIDRÓGENO SE VUELVE SOLO Estrictamente Dependiente de la Actividad de los Iones Hidrógeno en la Solución, es decir, del pH.

EL DE CLORO PRESENTA UN COMPARTIMIENTO SIMILAR, EN ESTE CASO LA REACCIÓN DE REDUCCIÓN ES:



Y POR TANTO LA FEM VENDRÁ DADA POR:

$$E_{Cl_2} = E_{Cl_2}^{\circ} - \frac{RT}{F} \ln \frac{A_{Cl^-}}{P_{Cl_2}^{1/2}}$$

SIN EMBARGO E° NO ES CERO, SINO IGUAL A 1,3595 VOLTIOS A 25°C.

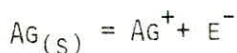
ELECTRODOS DE METAL-SAL INSOLUBLE

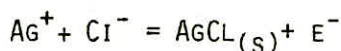
SON DE UNA IMPORTANCIA EXTRAORDINARIA EN LA ELECTROQUÍMICA Y DE GRAN USO, EN ESTA CATEGORÍA SE INCLUYEN A LOS DE - CALOMEL, PLATA-CLORURO DE PLATA, PLOMO-SULFATO DE PLOMO, PLATA BROMURO DE PLATA Y OTROS.

LA CARACTERÍSTICA MÁS COMÚN DE ESTOS ELECTRODOS ES - QUE TODOS ELLOS CONSTAN DE UN METAL EN CONTACTO CON UNA DE - SUS SALES DIFÍCILMENTE SOLUBLES Y UNA SOLUCIÓN QUE CONTIENE EL IÓN PRESENTE EN LA SAL QUE NO ES EL IÓN METÁLICO, EL ELECTRODO DE PLATA CLORURO DE PLATA Y SUMERGIDO EN UNA SOLUCIÓN DE IONES CLORURO, EL ELECTRODO DE PLOMO-SULFATO DE PLOMO - BIEN ES PLOMO PURO O AMALGAMA DE ESTE ÚLTIMO METAL RECUBIERTO DE CRISTALES DE SULFATO DE PLOMO Y RODEADOS POR SOLUCIONES DE SULFATOS. ESTOS ELECTRODOS SON REVERSIBLES A LOS DEMÁS IONES DISTINTOS AL METAL PRESENTE EN LA SAL INSOLUBLE. ASÍ LOS ELECTRODOS DE CALOMEL Y DE PLATA-CLORURO DE PLATA -- SON REVERSIBLES A LOS IONES CLORO, EL DE PLOMO-SULFATO DE -- PLOMO A LOS IONES SULFATO, EL DE PLATA-BROMURO DE PLATA A -- LOS IONES BROMO.

LA EXPRESIÓN DE SUS POTENCIALES ES LA SIGUIENTE.

PLATA-CLORURO DE PLATA

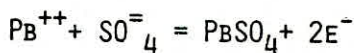
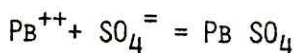
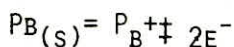




SU POTENCIAL SERÁ:

$$E_{\text{Ag-AgCl}} = E_{\text{Ag-AgCl}}^{\circ} - \frac{RT}{F} \ln \frac{1}{a_{\text{Cl}^-}}$$

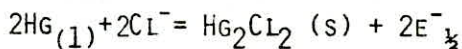
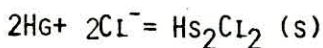
PLOMO-SULFATO DE PLOMO



SU POTENCIAL SERÁ

$$E_{\text{Pb-PbSO}_4} = E_{\text{Pb-PbSO}_4}^{\circ} - \frac{RT}{F} \ln \frac{1}{a_{\text{SO}_4^{--}}}$$

PARA EL ELECTRODO DE CALOMEL



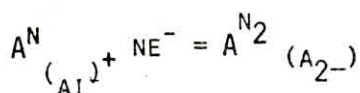
SI POTENCIAL SERÁ:

$$E_{\text{Hg}_2\text{Cl}_2} = E_{\text{Hg}_2\text{Cl}_2}^{\circ} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{1}{a_{\text{Cl}^-}}$$

ELECTRODOS DE OXIDACION-REDUCCION

AUNQUE TODA REACCIÓN ELECTRÓDICA COMPRENDE UNA OXIDACIÓN O REDUCCIÓN, EL TÉRMINO ELECTRODO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN SE EMPLEA PARA DESIGNAR AQUELLOS EN LOS CUALES LA FEM RESULTA DE LA PRESENCIA DE IONES DE UNA SUSTANCIA EN DOS ESTADOS DIFERENTES DE OXIDACIÓN. CUANDO SE INSERTA UN ALAMBRE DE PLATINO EN UNA SOLUCIÓN QUE CONTIENE LOS IONES FERROSO Y FÉRRICO SE ENCUENTRA QUE EL ALAMBRE ADQUIERE UN POTENCIAL. - LO MISMO OCURRE CON LAS SOLUCIONES DE IONES CEROSO Y CÉRICO ESTANOSO- ESTÁNICO, MANGÁNOSO- PERMANGÁNICO, LA FEM DE ÉSTOS ELECTRODOS SURGEN DE LA TENDENCIA DE LOS IONES EN UN ESTADO DE OXIDACIÓN, A PASAR A OTRO SEGUNDO MÁS ESTABLE, LA FUNCIÓN DEL ALAMBRE DE PLATINO ES SIMPLEMENTE RESTABLECER EL PONTENCIAL CORRESPONDIENTE A ESA TENDENCIA HACIA LA DISMINUCIÓN DE ENERGÍA LIBRE Y SERVIR DE CONTACTO ELÉCTRICO DEL ELECTRODO.

LA REACCIÓN GENERAL ES



DONDE:

N_1 .- VALENCIA EN EL ESTADO SUPERIOR DE OXIDACIÓN

N_2 .- VALENCIA EN EL ESTADO INFERIOR DE OXIDACIÓN

N .- ES EL CAMBIO DE VALENCIA DADA POR $N_1 - N_2$.

LA ECUACIÓN DE LA FEM ES;

$$E = E^{\circ} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{A_2}{A_1}$$

POR LO CUAL SE CONCLUYE QUE LA FEM DE LOS ELECTRODOS DE ÓXIDO REDUCCIÓN DEPENDEN DE LA RELACIÓN DE ACTIVIDADES DE LOS DOS IONES.

ELECTRODEPOSICION DE METALES

LA DEPOSICIÓN CATÓDICA DE METALES SE LOGRAN CON SOBREVOLTAJES RELATIVAMENTE PEQUEÑOS, DE ACUERDO CON LOS REQUISITOS TEÓRICOS, LOS METALES NO COMIENZAN A DEPOSITARSE EN EL CÁTODO HASTA QUE SE EXCEDE EL POTENCIAL DEL METAL DADO EN LA SOLUCIÓN PARTICULAR, POR LO CUAL EL POTENCIAL DEL METAL SE ELEVA LENTAMENTE CON LA DENSIDAD DE CORRIENTE, LO QUE SEÑALA QUE EXISTE CIERTA POLARIZACIÓN, PERO EL SOBREVOLTAJE ESCASAMENTE EXCEDE UNAS DÉCIMAS DE VOLTIO CON LAS DENSIDADES DE CORRIENTE MÁS ELEVADAS. LOS METALES COMO EL CINC, COBRE Y CADMIO PRESENTAN UN SOBREVOLTAJE PARTICULARMENTE BAJO MIENTRAS QUE EL HIERRO, COBALTO Y NÍQUEL MUESTRAN SOBREVOLTAJES ELEVADOS. LAS CAUSAS DEL SOBREVOLTAJE NO APARECEN CLARAS SE HAN PROPUESTO DIVERSAS TEORÍAS PERO EN LA ACTUALIDAD DISPONEMOS DE Poca INFORMACIÓN PARA HACER UNA ELECCIÓN ENTRE ELLAS.

EL SOBREVOLTAJE DE UN METAL PARTICULAR NO ES EL MISMO PARA TODAS SUS SOLUCIONES SALINAS PERO VARÍA LIGERAMENTE CON LA NATURALEZA DEL ION.

SI EXISTEN ÚNICAMENTE IONES METÁLICOS EN SOLUCIÓN, SOLO SUS POTENCIALES DETERMINARÁN LA DEPOSICIÓN, SIN EMBARGO EN CUALQUIER SOLUCIÓN ACUOSA EXISTEN IONES DE HIDRÓGENO PRESENTES, Y EN CONSECUENCIA, SON POSIBLES DOS REACCIONES CATÓDICAS: LA DEPOSICIÓN DEL METAL Y EL DESPRENDIMIENTO DEL HIDRÓGENO. POR LO TANTO, EL POTENCIAL QUE SE REQUIERE PARA DEPOSICIÓN METÁLICA DEBE SER MENOR QUE LA DEL HIDRÓGENO, EL --

PRODUCTO DE LA ELECTRÓLISIS EN EL CÁTODO SERÁ EL METAL. SI ES CIERTO LO CONTRARIO TENDRÁ LUGAR UNA LIBERACIÓN CATÓDICA DE HIDRÓGENO. SIN EMBARGO, MIENTRAS QUE LA DEPOSICIÓN CATÓDICA DE LOS METALES COMPRENDE ESENCIALMENTE SÓLO EL POTENCIAL REVERSIBLE DEL ELECTRODO DEL METAL, LA LIBERACIÓN DEL HIDRÓGENO COMPRENDE NO SÓLO AL POTENCIAL REVERSIBLE DEL ELECTRODO DE HIDRÓGENO EN LA SOLUCIÓN PARTICULAR, SINO TAMBIÉN EL SOBREVOLTAJE DE ÉSTE ÚLTIMO ELEMENTO EN EL MATERIAL QUE COMPONE AL CÁTODO. DE HECHO POR ESTA CAUSA SE DEPOSITAN MUCHOS METALES DE LAS SOLUCIONES ACUOSAS BAJO CONDICIONES QUE EN AUSENCIA DE SOBREVOLTAJE DARÍAN INVARIABLEMENTE HIDRÓGENO.

PARA ILUSTRAR LOS PUNTOS ANTERIORES CONSIDEREMOS PRIMERO LA ELECTRÓLISIS DE UNA SOLUCIÓN ACUOSA DE NITRATO DE PLATA EN LA CUAL LA ACTIVIDAD DE LA SAL ES LA UNIDAD. EN ESTA SOLUCIÓN EL POTENCIAL DE DEPOSICIÓN DE LA PLATA SERÁ EL POTENCIAL ELECTRÓDICO TIPO DEL METAL, ES DECIR $E^{\circ} = 0.80$ VOLTIOS A 25°C . EN LA MISMA SOLUCIÓN LA ACTIVIDAD DE LOS IONES HIDRÓGENO ES 10^{-17} , Y POR LO TANTO EL POTENCIAL PARA EL DESPRENDIMIENTO REVERSIBLE DE ESTE ELEMENTO SERÁ:

$$E_{\text{H}_2} = - \frac{0.059}{1} \log_{10} \frac{1}{10^{-7}}$$

$$= - 0.41 \text{ VOLTIOS.}$$

COMO LA DEPOSICIÓN DE PLATA EXIGE MENOR GASTO DE ENERGÍA QUE EL DESPRENDIMIENTO DE HIDRÓGENO, COMO EL PRIMERO PROCEDE ESPONTÁNEAMENTE MIENTRAS QUE EL ÚLTIMO NO, SE DEPOSITARÁ LA PLATA EN LUGAR DE LIBERARSE EL HIDRÓGENO. EN ESTE CASO

TENDREMOS PLATA EN EL CÁTODO SI NO HAY SOBRE TENSION DE HIDRÓGENO. LO MISMO ES CIERTO EN EL CASO DE LA DEPOSITACIÓN DE COBRE, AUNQUE LA DIFERENCIA ENTRE LOS POTENCIALES DE PLATA O COBRE Y EL DE HIDRÓGENO SE REDUZCAN EN SOLUCIONES ÁCIDAS, -- AUN ESTE ÚLTIMO NO SE HACE MENOR QUE EL DE LOS MENCIONADOS METALES, Y SU DEPOSITARÁN TANTO SI LA SOLUCIÓN ES ÁCIDA O -- NEUTRA.

POR OTRA PARTE LA DEPOSITACIÓN DE LA MAYORÍA DE LOS METALES SITUADOS POR ENCIMA DEL HIDRÓGENO EN LA SERIE ELECTROMOTRÍZ SERÍA IMPOSIBLE DE REALIZAR DE NO SER POR EL SOBREVOLTAJE. PARA UNA SOLUCIÓN DE IONES CADMIO CUYA ACTIVIDAD SEA LA UNIDAD, SU POTENCIAL VALE 0.40 VOLTIOS Y EL REQUERIDO PARA LA DEPOSITACIÓN ES -0.40 VOLTIOS, ÉSTE POTENCIAL ESTÁ TAN PRÓXIMO AL DEL ELECTRODO DE HIDRÓGENO EN SOLUCIÓN NEUTRA, -- -0.41 VOLTIOS QUE CABE ESPERAR LA DEPOSICIÓN SIMULTÁNEA DE AMBOS ELEMENTOS. SI LA SOLUCIÓN ES ÁCIDA, EL POTENCIAL DEL ELECTRODO DE HIDRÓGENO SERÍA MENOS NEGATIVO, Y APARECERÍA IMPOSIBLE DEPOSITAR CADMIO. NO OBSTANTE NO SUCEDEN ASÍ LAS COSAS PORQUE NO HAY DESPRENDIMIENTO DE HIDRÓGENO REVERSIBLES EN EL CÁTODO DE CADMIO; EN EFECTO, CON UNA DENSIDAD DE CORRIENTE TAN BAJA COMO UN MILIAMPERIO POR CENTÍMETRO CUADRADO LA SOBRETENCIÓN DEL HIDRÓGENO EN EL CADMIO ES DE CASI UN VOLTIO. EN CONSECUENCIA, A FÍN DE LOGRAR LA DEPOSITACIÓN DEL HIDRÓGENO EN UNA SOLUCIÓN NEUTRA SE PRECISA UN POTENCIAL DE -- -1.4 VOLTIOS, MIENTRAS QUE LAS SOLUCIONES FUERTEMENTE ÁCIDAS REQUIEREN OTRO DE -1.0 VOLTIOS. COMO AMBOS SON CONSIDERABLE-

MENTE MAYORES QUE EL NECESARIO PARA LOGRAR UN CADMIZADO, - -
-0.40 VOLTIOS, EL ÚLTIMO PROCESO ES EL QUE SE VERIFICA EN --
VES DE DESPRENDERSE HIDRÓGENO.

DE ESTA MANERA SE EXPLICA LA SEPARACIÓN ELECTROLÍTICA DE LOS METALES CINC, HIERRO, NIQUEL, ESTAÑO Y PLOMO DE SUS SOLUCIONES ACUOSAS SI NO FUERA POR LA PRESENCIA DE UN SOBREVOLTAJE DE HIDRÓGENO, LA DEPOSITACIÓN DE ESTOS METALES SE -- COMPLICARÍA POR LA APARICIÓN DE DICHO GAS, MIENTRAS QUE EN - OTRAS OCASIONES, COMO EN EL CINC, EL HIDRÓGENO SERÍA EL PRODUCTO EXCLUSIVO. RESULTA PARTICULARMENTE ILUSTRATIVO EL HE-- CHO DE QUE INCLUSO EL SODIO ES CAPAZ DE DEPOSITARSE EN UN CÁ TODO DE MERCURIO EN LUGAR DEL HIDRÓGENO. CON UN SOBREVOLTAJE DE APROXIMADAMENTE UN VOLTIO, SE REQUIERE UN POTENCIAL DE -- UNOS 1.4 VOLTIOS PARA LIBERAR HIDRÓGENO DE ESTE METAL. POR - OTRO LADO, LA DEPOSITACIÓN DEL SODIO REQUIERE UN POTENCIAL - MAYOR DE 2 VOLTIOS. SIN EMBARGO, CUANDO SE DEPOSITA EL SODIO SOBRE EL MERCURIO, SE DISUELVE EL PRIMERO EN EL ÚLTIMO FOR-- MANDO UNA AMALGAMA EN LA CUAL LA ACTIVIDAD DEL SODIO QUEDA - MODERADA. CUANDO SE DILUYE LA AMALGAMA, EL POTENCIAL DEL SODIO ES SÓLO DE 1.2 VOLTIOS, Y DE AQUÍ QUE LA DEPOSICIÓN DE ESTE ELEMENTO EN LA AMALGAMA PUEDE REALIZARSE A -1.2 VOLTIOS. COMO ESTE POTENCIAL ES MENOR QUE 1.4 VOLTIOS PARA QUE HAYA - DESPRENDIMIENTO DE HIDRÓGENO SOBRE EL MERCURIO, EL SODIO PUE DE RECUPERARSE DE LA SOLUCIÓN ACUOSA EN FORMA DE AMALGAMA. - ESTE HECHO SE UTILIZA COMERCIALMENTE EN LA CELDA DE CASTNER PARA LA ELECTRÓLISIS DEL CLORURO DE SODIO, DONDE EL SODIO SE DEPOSITA PRIMERO CATÓDICAMENTE COMO UNA AMALGAMA Y LUEGO SE DEJA REACCIONAR CON EL AGUA PARA FORMAR HIDRÓGENO E HIDRÓXI- DO DE SODIO.

EXPERIMENTO: ELECTORREVESTIMIENTO DE COBRE EN UNA MONEDA

APARATOS: EQUIPO DE ELECTRÓLISIS, PILA DE 6 VOLTIOS, VARILLA DE CARBÓN HOMOGÉNEO, CRISTALES DE SULFATO DE COBRE PENTAHIDRATADO (30 GRS.), 10 ML DE ÁCIDO SULFÚRICO, AGUA DESTILADA, LÁMINA DE ALUMINIO, MONEDAS CUALQUIERA QUE CONTENGAN COBRE, CABLES DE UNIÓN, PENSAS DE COCODRILO.

- A) SE LAVA EL VASO DE PRECIPITADOS DEL EQUIPO DE ELECTROLISIS CON AGUA CORRIENTE Y POR ÚLTIMO SE ENJUAGA CON AGUA DESTILADA.
- B) SE PREPARA LA SOLUCIÓN DE SULFATO DE COBRE, DISOLVIENDO EN EL VASO DE PRECIPITADOS LOS 30 GRS. DE SULFATO DE COBRE EN 200 ML DE AGUA DESTILADA, MIENTRAS SE AGIA AÑADIMOS GOTA A GOTA UNOS 10 MO DE ÁCIDO SULFÚRICO.
- C) CONECTAMOS EL CARBÓN AL POLO POSITIVO DE LA PILA Y EN EL LADO NEGATIVO COLOCAMOS LA MONEDA QUE PREVIAMENTE SE HA LAVADO PARA QUITARLE IMPURESAS, EL LAVADO ES CON JABÓN Y AGUA CORRIENTE Y SI SE PRECISA SE LIJAN UN POCO.
- D) SE FIJAN AMBOS ELECTRODOS EN LA TAPADERA DEL VASO DE FORMA QUE QUEDEN HORIZONTALMENTE A UNA DISTANCIA APROXIMADAMENTE DE 3 CM.
- E) SE DEJA PASAR CORRIENTE ALREDEDOR DE UNOS 5 MINUTOS O MENOS.
- F) PARA SABER LA CANTIDAD DE CORRIENTE QUE HA PASADO SE PUE-

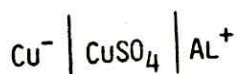
DE CONECTAR EN EL SISTEMA UN AMPERÍMETRO.

- G) SE INTERRUMPE LA CORRIENTE AL PASO DEL TIEMPO Y SE ENJUGA LA MONEDA EN AGUA O EN UNA SOLUCIÓN DE ÁCIDO SULFÚRICO 0.01 N PARA QUE NO PIERDA EL COLOR ROSADO, DEBIDO A LA -- OXIDACIÓN DEL COBRE CON EL AIRE.
- H) AHORA UTILIZAMOS COMO ÁNODO, EN LUGAR DEL CARBÓN HOMOGÉ-- NEO LA LÁMINA DE ALUMINIO Y SE SIGUEN LOS PROCEDIMIENTOS ANTERIORES OBSERVAN LO QUE SUCEDE PASO A PASO, AL PASAR - LA CORRIENTE EN LA SOLUCIÓN.
- I) SI SE CAMBIA LA POLARIDAD, CAMBIANDO LAS CONECCIONES EN - LA PILA, DESPUÉS DE DOS MINUTOS OBTENDREMOS UNA PELÍCULA ROSADA EN LA PARTE IZQUIERDA, MIENTRAS QUE LA DE LA DERE-- CHA DESAPARECE.
- J) SE CALCULA EL POTENCIAL DE LA CELDA.

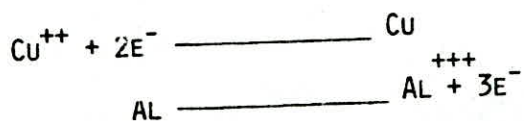
RESULTADOS OBSERVADOS:

- 1.- SI SE INTRODUCEN DOS ELECTRODOS EN UNA SOLUCIÓN DE SULFA TO DE COBRE LA CORRIENTE CONTINUA DEPOSITA COBRE EN EL NEGATIVO.
- 2.- SI SE UTILIZA COMO ELECTRODO POSITIVO UNO DE COBRE (O -- SIMPLEMENTE RECUBIERTO DE COBRE), LA CORRIENTE HACE QUE EL COBRE SE DISUELVA, CON LO QUE PASA A LA DISOLUCIÓN.
- 3.- AL PONER COMO ELECTRODO POSITIVO UNA LÁMINA DE ALUMINIO,

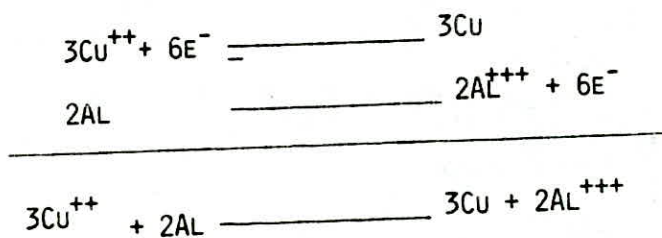
ESTA PASA A FORMAR PARTE DE LA SOLUCIÓN, POR LO CUAL SE
 PROCEDE A CALCULAR EL POTENCIAL DE ESTA CELDA, QUEDANDO
 COMO SIGUE:



LAS REACCIONES DE LOS ELECTRODOS SERÁN



LA REACCIÓN TOTAL SERÁ:



EXPERIMENTO: ELECTROLISIS DEL ACIDO CLORHIDRICO.

APARATUS: EQUIPO DE ELECTROLISIS, PILA DE 6 VOLTIOS, VARI--LLAS DE CARBÓN HOMOGÉNEO, PINZAS DE COCODRILO, ÁCIDO CLORHÍDRICO, AHUA DESTILADA, CABLES DE UNIÓN.

- A) SE LAVA EL CASO DE PRECIPITADOS CON AGUA CORRIENTE Y JA--BÓN, POR ÚLTIMO SE ENJUAGA CON AGUA DESTILADA.
- B) SE PREPARA UNA SOLUCIÓN EN EL VASO DE PRECIPITACIÓN, CON 200 ML. DE AGUA DESTILADA DONDE SE AGREGAN LENTAMENTE 10 ML DE ÁCIDO CLORHÍDRICO
- C) SE CONECTAN LAS VARILLAS DE CARBÓN HOMOGÉNEO POR MEDIO DE LAS PINZAS DE COCODRILO Y LOS CABLES DE UNIÓN PROCURANDO QUE SE ENCUENTREN SEPARADAS LAS VARILLAS QUE SERÁN LOS --ELECTRODOS, UNOS 3 CM. ENTRE SÍ.
- D) SE DEJA PASAR CORRIENTE, CON LOS ELECTRODOS SUMERGIDOS EN LA SOLUCIÓN DURANTE UNOS MINUTOS OBSERVANDO QUE EN LOS -ELECTRODOS TIENE LUGAR UN DESPRENDIMIENTO DE BURBUJAS DE GAS (ELECTRÓLISIS), SI OLEMOS LOS GASES DESPRENDIDOS, DEDUCIMOS QUE EN EL ELECTRODO POSITIVO SE HA PRODUCIDO CLO--RO. Y EN EL ELECTRODO NEGATIVO SE DESPRENDE H_2 .
- E) LAS VARILLAS DE CARBÓN DEBEN ACLARARSE CON AGUA, DESPUÉS DE USARLOS EN ESTE EXPERIMENTO.

RESULTADO: SI SE INTRODUCEN DOS ELECTRODOS EN UNA DISOLUCIÓN DE ÁCIDO CLORHÍDRICO, TIENE LUGAR UN DESPRENDIMIENTO DE GA--SES EN LOS LECTRODOS.

EXPERIMENTO: ELECTROLISIS DE UNA DISOLUCION DE SAL COMUN.

APARATOS: EQUIPO DE ELECTRÓLISIS, PILA DE 6 VOLTIOS, VARI-
LLAS DE CARBÓN HOMOGÉNEO, PINZAS DE COCODRILO, PAPEL DE FE-
NOLFTALEÍNA, AGUA DESTILADA SAL COMÚN, CABLES DE UNIÓN,

- A) SE LAVA EL VASO DE PRECIPITADOS CON AGUA CORRIENTE Y JA-
BÓN Y POR ÚLTIMO SE ENJUAGA CON AGUA DESTILADA.
- B) SE PREPARA UNA SOLUCIÓN EN EL VASO DE PRECIPITACIÓN, COM-
PUESTA DE 20 GRAMOS DE SAL COMÚN DISULTOS EN 200 ML DE --
AGUA DESTILADA, SE MUEVE PERFECTAMENTE HASTA QUE LA SAL -
SE DISUELVA COMPLETAMENTE.
- C) SE CONECTAN LAS VARILLAS DE CARBÓN HOMOGENEO AYUDADOS POR
LAS PINZAS DE COCODRILO Y SEPARADOS UNA DE LA OTROS POR -
3 CM, SE COLOCAN EN EL SOPORTE DEL EQUIPO FIJÁNDOLOS MUY
BIEN.
- D) SE CONECTAN LOS CABLES A LOS BORDES DE LA PILA, CUANDO YA
SE ENCUENTREN LOS ELECTRODOS SUMERGIDOS EN LA SOLUCIÓN Y
SE DEJA PASAR CORRIENTE DURANTE UNOS 5 MINUTOS EN TOTAL.
- E) SI DURANTE EL TRANSCURSO DE ESE TIEMPO, INTRODUCIMOS UNA
TIRA DE PAPEL DE FENOLFTALEÍNA EN LA SOLUCIÓN, VEREMOS --
QUE SE PONE ROJA CUANDO SE COLOCA EN LAS CERCANÍAS DEL --
ELECTRODO NEGATIVO DONDE SE DEPOSITA SODIO METÁLICO (ELEC-
TRÓLISIS), EL CUAL SE COMBINA INMEDIATAMENTE CON EL AGUA
PARA FORMAR HIDRÓXIDO SÓDICO, QUE ES EL COMPUESTO QUE CO-
LOREA A LA FENOLFTALEÍNA. EN EL ELECTRODO POSITIVO SE DES

PRENDE CLORO LIBRE.

RESULTADOS:

SI SE INTRODUCEN DOS VARILLAS DE CARBÓN EN UNA SOLU- -
CIÓN DE SAL COMÚN, LA CORRIENTE CONTINUA ORIGINA UN DESPREN-
DIMIENTO DE GASES, SI PONEMOS UNA TIRA DE PAPEL DE FENOLFTA-
LEÍNA EN LAS PROXIMIDADES DEL ELECTRODO NEGATIVO, SE PONE RO
JA.

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

- 1.- ELECTROCHEMISTRY
J. KORYLA
J. DVORAK
METHUEN AND CO. LTD.
- 2.- PHYSICAL CHEMISTRY FOR THE LIFE SCIENCES.
JAMES R BORRANTE.
PRENTICE HALL INC.
- 3.- PRINCIPLES AND APPLICATIONS OF ELECTROCHEMISTRY
H. JERMAIN
CREIGHTON
- 4.- TENNIQUES OG ELECTROCHEMISTRY
ERNEST YEAGER
ALVIN J. SALKEND
LIBRARY OF CONGRESS CATALOGING IN PUBLICATION DAT.
- 5.- THE PRINCIPLES OF ELECTROCHEMESTRY
DUNCAN A, MAC. INNES
DOVER PUBLICATION INC.
NEW YORK
- 6.- ELECTROANALYTICAL CHEMISTRY
JOMES J. LINGANE
INTERSCIENCIE PUBLISHERS.
NEW YORK.
- 7.- PRINCIPLES AND APPLICATIONS OF ELECTROCHEMISTRY
CREIGHTON Y KOEHLER
JPHN WILEY AND SONS, INC. NEW YORK.

- 8.- FUNDAMENTOS DE FISICOQUÍMICA
SAMUEL, H. MARON.
CARL F. PRUTTON;
EDITORIAL LIMUSA.
- 9.- KOMPAKTKASTEN
PHYWE, AKTIENGESELLSCHAFT GOTTINGEN
GERMANY
- 10.- FÍSICO - QUÍMICA
FARRINGTON DANIEL
ROBERT A. ALBERTY
C.E.C.S.A.
- 11.- MÉTODOS INSTRUMENTALES DE ANÁLISIS QUÍMICOS
G. W. EWING.
MC GRAW HILL.
- 12.- FISICO-QUÍMICA EXPERIMENTAL
DAMIELS
MC. GRAW HILL
- 13.- CURSO DE QUÍMICA FÍSICA
TOMO II
I. BRONSHTEIN
H. SEMENDIAEV
EDITORIAL MIR - MOSCÚ