

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

-:-

CONDUCTIBILIDAD ELECTRICA
DE LAS

AGUAS DE ORIGEN GEOTERMICO

T E S I S

presentada por

SANTIAGO ORLANDO ROMERO HERNANDEZ

En el Acto Público de su Doctoramiento

-:-

Julio de 1959

San Salvador

El Salvador

Centro América

UES BIBLIOTECA CENTRAL



INVENTARIO: 10123140

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Rector

Dr. NAPOLEON RODRIGUEZ RUIZ

Secretario

Dr. ROBERTO EMILIO CUELLAR MILLA

(.)

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

Decano

Dr. FRANCISCO GONZALEZ SUVILLAGA

Secretario

Dr. ROBERTO MACHADO

(.)

0.22
3c
9
0.00
1

006522

JURADOS

PRIMER EXAMEN PRIVADO

- Dr. LUIS ARISTIDES AMAYA
- Dr. MARIO CASTRO SALGUERO
- Dr. ROBERTO ANTONIO MACHADO

SEGUNDO EXAMEN PRIVADO

- Dr. JULIO CESAR MORAN RAMIREZ
- Dr. CARLOS MATA GAVIDIA
- Dr. FRANCISCO GONZALEZ SUVILLAGA

DOCTORAMIENTO PUBLICO

- Dr. KONRAD MURR
- Dr. RODOLS SCHULZ
- Dr. RAFAEL ARAUZ



DEDICATORIA

A mis Padres

Carlos Romero Hernández

María Ester Cornejo Hernández

A mi Esposa

Leticia Calles de Romero Hernández

A mis Hermanos

AGRADEZCO:

Al Dr. Fritz Dürr, Director del Servicio Geológico Nacional, por su valiosa colaboración que en todo momento me prestó.

Al Personal del Servicio Geológico Nacional.

I N D I C E

INTRODUCCION

DEFINICION DE CONDUCTIBILIDAD ELECTRICA
Y SU DEPENDENCIA DEL CONTENIDO
ELECTROLITICO DE LAS SOLUCIONES.

ELECTROLITOS.

METODO EMPLEADO. GENERALIDADES.

DESCRIPCION DEL APARATO USADO EN LAS
DETERMINACIONES DEL PRESENTE ESTUDIO.

DESCRIPCION DEL METODO EMPLEADO.

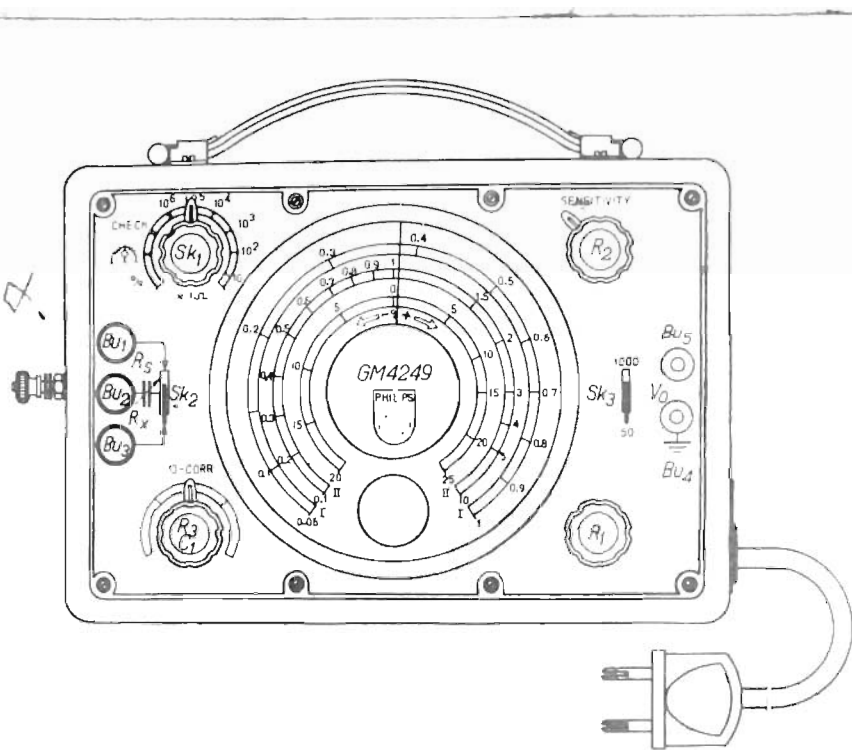
PROVENIENCIA DE LAS MUESTRAS.

RELACION DE RESISTENCIA CON TEMPERATURA.

RESULTADOS DE MUESTRAS DE AGUA.

RESULTADOS DE MUESTRAS DE SUELOS.

CONCLUSIONES.



Introducción

Desde hace varios años el Servicio Geológico Nacional de El Salvador está realizando investigaciones respecto a un posible aprovechamiento económico del vapor natural para la producción de energía.

El programa del Servicio Geológico comprende estudios geológico-tectónicos, físicos y químicos. Análisis químicos de aguas revelan, que las aguas termales están constituidas por un alto contenido químico. Este hecho facilita cualquier prospección geotérmica ya que un alto contenido químico siempre indica influencia geotermal. Considerando que para prospección geológica se necesitan métodos simples y rápidos y tomando en cuenta que un análisis químico completo es una operación tardada, se requiere para fines de prospección otro método que el análisis químico. Conociendo que la conductibilidad eléctrica de un líquido depende directamente de su contenido químico, y que la determinación de la conductibilidad eléctrica es un proceso relativamente simple y rápido, parece que esta característica ofrece un método adecuado para fines de prospección geotermales. El objeto del siguiente estudio es comprobar esta suposición y elaborar el método apropiado.

DEFINICION DE CONDUCTIBILIDAD ELECTRICA Y SU
DEPENDENCIA DEL CONTENIDO ELECTROLITICO DE
LAS SOLUCIONES.

La conductibilidad para la corriente eléctrica de un líquido depende de la cantidad de sales disueltas en iones que se encuentra en el líquido, ésta es tanto mayor cuando más salino es el líquido, y viceversa la resistencia eléctrica es tanto mayor, cuanto menor es el contenido de sales en el líquido.

La determinación de conductibilidad eléctrica o de resistencia eléctrica de un agua proporciona pues la cantidad de sales ionizadas contenidas y permite asimismo verificar la composición de aguas de nacimiento, ríos y pozos eventualmente sujetas a contaminación de otras aguas más o menos salinas. Para tal determinación se necesita de un dispositivo especial llamado Puente WHEATSTONE.

CONDUCTIBILIDAD EN GENERAL

La conductibilidad es la recíproca de la resistencia y de la Ley de OHM se tiene que la intensidad de corriente J es tanto más grande cuanto menor es la resistencia específica del conductor, esto es:

$$J = E \frac{s}{L r}$$

E = diferencia de potencial que se expresa en voltios.

s = Sección del conductor.

l = Longitud del conductor.

r = Resistencia específica del conductor.

En el sistema absoluto la resistencia específica es dada por la resistencia que un cubo de un centímetro de lado opone al paso de la electricidad a través de dos de sus caras paralelas. Como unidad de resistencia específica (ohmio) se toma la de una columna de mercurio de 100 cm. de longitud y un milímetro cuadrado de sección a la temperatura de cero grados.

La unidad de intensidad de la corriente es el amperio; ésta es la intensidad por la cual en un segundo son precipitados 0.3294 mgr de cobre, se tiene por tanto

$$\text{amperio} = \frac{\text{voltios}}{\text{ohmios}} \cdot$$

La unidad de resistencia específica es definida por el pasaje de un amperio bajo la diferencia de potencial de un voltio. La recíproca de la resistencia específica que representa la conductibilidad de un conductor comprendido entre dos caras de sección unitaria de un cubo de un centímetro de lado o bien cilindro de 1 m. de largo con una sección de 1 mm. cuadrado: en este último caso la resistencia es diez mil veces más grande que en el caso anterior.

Entre los conductores nos interesan los electrólitos a los cuales se pueden aplicar las relaciones precedentes para ellos se usa definir la llamada conductibilidad equivalen-

te, la cual se obtiene de la conductibilidad específica extendiendo las caras del cubo mantenidas a la distancia unitaria hasta comprender un volumen de electrólitos que contenga un gramo equivalente en solución.

La conductibilidad equivalente de un electrólito es dada por la suma de la velocidad de migración de sus iones particulares. Esta es la Ley de Migración independiente de los iones descubierta por KOHLRAUSCH en 1879 que representaba en el modo siguiente:

$$(1) M = (c + a).$$

C = Velocidad de migración del Kati6n.

a = Velocidad de migraci6n del Ani6n.

Tal ley es valedera para soluciones muy diluidas, mientras para soluciones concentradas es necesario tener en cuenta el grado de disociaci6n y por consiguiente como lo ha demostrado OSTWALD.

La f6rmula (1)

se transforma en:

$$(2) M = \alpha (c + a)$$

α = Grado de disociaci6n.

pero con el aumento de la disoluci6n alfa se hace igual a 1, entonces esta f6rmula vuelve a entrar en la ley original, propuesta por KOHLRAUSCH. A la concentraci6n cero la conductibilidad el6ctrica es nula (agua pura) pero con el agregado del electr6lito la conductibilidad espec6fica crece hasta alcanzar un m6ximo para despu6s disminuir con el aumen-

to de la concentración. De esta curva de conductibilidad se pueden pues obtener indicaciones acerca de la formación de compuestos en solución por ejemplo en el caso del ácido sulfúrico se tiene un máximo a la concentración del 30%, después se obtiene un mínimo de conductibilidad a la concentración del 82% corresponde al hidrato de $H_2SO_4 \cdot H_2O$; y hay otro máximo al 92% para después caer casi a 0 en el caso de ácido sulfúrico puro y si a éste le agregamos SO_3 se obtiene otro máximo de conductibilidad. La curva del cloruro de sodio es interrumpida a causa de su poca solubilidad. La conductibilidad de los electrólitos está pues en relación con la acción disociante de los disolventes, esto es con el debilitamiento que el disolvente provoca (con su poder dieléctrico) en las fuerzas de atracción entre los iones que componen las moléculas de los electrólitos. En general el agua tiene una gran fuerza dionizante. Según NERST THOMSON, la acción disociante de los disolventes estaría en relación con su constante dieléctrica y precisamente presentan mayor acción disociante los solventes que tienen una elevada constante dieléctrica; además que con la constante dieléctrica la acción disociante de los disolventes está sin duda con relación a sus otras propiedades.

El paso de electricidad a través de un

electrólito fue interpretado por primera vez por SVANTE ARRHENIUS (1859-1928). Todavía son válidas las ideas fundamentales de la teoría original, aún cuando se han modificado sus detalles. Una disolución de un ácido o una base o una sal se compone en parte de partículas cargadas eléctricamente, llamadas iones. Los iones son átomos o grupos de átomos (radicales) cargados positivo o negativamente, así en una disolución $\text{SO}_4 \text{Na}_2$ hay iones SO_4^- y Na^+ que consisten en átomos de Na^+ que han perdido su electrón de valencia y también iones SO_4^- con una doble carga negativa. Así también una disolución de ClNa contiene iones de Na^+ con carga positiva que consisten en átomos de Na^+ que han perdido su electrón de valencia y iones Cl^- con una sola carga negativa que son átomos de Cl^- que han ganado un electrón.

Cuando hay dos electrodos, positivo y negativo en diferentes puntos de la disolución los iones positivos emigran lentamente hacia el electrodo negativo y los iones negativos hacia el electrodo positivo, pero no necesariamente con la misma velocidad. La velocidad de los iones es muy pequeña, de orden de algunas cien milésimas de centímetro por hora, por consiguiente, la corriente en una disolución consiste en movimientos en sentidos opuestos de iones que tienen cargas contrarias.

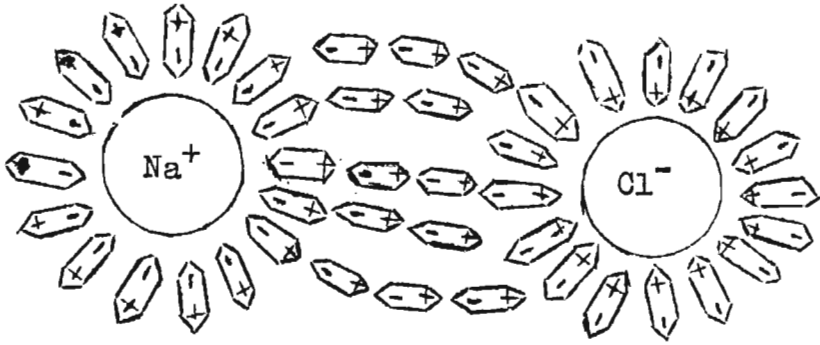
El movimiento de partículas positivas en un sentido constituye una corriente del mismo signo que el movimiento de partículas negativas en sentido contrario. Debido a la diferencia de velocidades de las clases de iones, los iones positivos transportan en general, una proporción distinta de la corriente total que la transportada por los iones negativos, mientras que por ejemplo: Un cristal sólido de ClNa tiene una distribución fija de iones positivos de sodio y iones negativos de cloro.

Los iones se mantienen por atracción electrostática y no pueden moverse a través del cristal, realizando simplemente un movimiento vibratorio alrededor de sus posiciones de equilibrio, y la energía sinética de este movimiento depende de la temperatura del cristal.

La cuestión importante que se presenta ahora, es, porqué una sustancia iónica disuelta en agua produce iones que no están estrechamente unidos entre sí, sino que son atraídos tan débilmente que pueden moverse bajo la acción de un campo eléctrico débil.

La respuesta está en las propiedades dieléctricas del agua, o en otras palabras en las propiedades polares de las moléculas de agua.

Figura 1.



Cada molécula de agua es un pequeño dipolo, esto es, sus cargas positivas y negativas no coinciden. Podemos representar estos dipolos de un modo exagerado por estructuras de forma oval como indica la Fig. (1) alrededor de un ión positivo de sodio habrá agrupado cierto número de moléculas de agua con sus extremos negativos próximos al ión de sodio. De modo análogo los extremos positivos de algunas otras moléculas de agua se agruparán alrededor de iones cloro. La fuerza sobre el ion cloro es la resultante de tres fuerzas:

- 1ª) La debida a las cargas positivas inducidas sobre las moléculas de agua que lo rodean.
- 2ª) La debida al anillo de cargas inducidas sobre las moléculas de agua que rodean el átomo de sodio.
- 3ª) La debida al ión sodio. Todas las demás cargas que hay en el esquema quedan neutralizadas por cargas opuestas próximas.

De acuerdo con esta explicación, los iones de las sustancias disueltas deben estar libres en cualquier disolvente, de coeficiente dieléctrico elevado como así ocurre en realidad.

La conductibilidad eléctrica es muy buena cuando las sustancias están disueltas por ejemplo: En el alcohol metílico y en amoníaco líquido. En los medios de constante dieléctrica baja, tales como por ejemplo: el benceno, los iones de las sustancias disueltas permanecen unidos y la conductibilidad es baja.

ELECTROLITOS

Según conduzcan la electricidad los electrólitos que se encuentran en disolución pueden ser fuertes o débiles. Siendo los fuertes casi todas las sales, ácidos y bases inorgánicas; y son débiles la mayoría de ácidos y bases orgánicas.

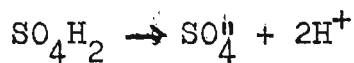
Midiendo la conductibilidad eléctrica de las soluciones se hace la diferenciación de los electrólitos fuertes y débiles.

En esta determinación se mide la resistencia eléctrica por medio de un puente de WHEATSTONE del cual hablaré al describir el aparato usado en mis determinaciones.

La conductibilidad equivalente crece al paso que aumenta la dilución pero el acrecentamiento no es tan grande en los electrólitos fuertes como en los débiles. Esto es debido a que los electrólitos fuertes experimentan ionización en sumo grado, en cualquier concentración y no se pueden ionizar en mucho más al ser diluidos; en cambio, los electróli-

tos débiles que apenas se ionizan en solución no muy diluida, se disocian mucho más cuando se diluye la solución. La interpretación que actualmente se le da a electrólitos débiles es casi igual, pero con respecto a electrólitos fuertes se cree que la mayor parte de ellos son ionizados totalmente cualesquiera que sea su concentración; cualquier diferencia aparente de la ionización se atribuye hoy a la atracción inter-iónica que restringe la actividad de los iones al aumentar la concentración de las soluciones.

Se nota otra diferencia entre electrólitos fuertes y débiles, cuando se trata de aplicar la ley de la acción de las masas a la ionización de dos clases de sustancias. Aplicando esta ley por ejemplo al ácido sulfúrico que se disocia o ioniza en la siguiente forma:



se debe verificar la siguiente relación:

$$\frac{(2\text{H})^+ \times (\text{SO}_4^{=})}{\text{SO}_4\text{H}_2} = K$$

Esta relación denota que el producto de la concentración de los iones hidrógeno y de aniones dividido por la concentración del ácido no ionizado o molecular es igual a una constante llamada constante de disociación o constante de ionización del ácido. Esta constante tiene diferentes valores a diferentes temperaturas. Como la concentración de iones

hidrógeno en solución acuosa del ácido es igual a la de los aniones se puede simplificar la expresión en la forma siguiente:

$$\frac{(H)^2}{SO_4H_2} = K$$

Ahora bien, si se determina la concentración de iones de hidrógeno de la solución ya por el método colorimétrico o por el electrométrico y se calcula la concentración del ácido no ionizado restando para ello la concentración de iones de hidrógeno del ácido total que hay, se puede comprobar la validez de esta ecuación.

La sustitución de valores adecuados de electrólitos fuertes y débiles pone de manifiesto que la ley de la acción de las masas es aplicable a la ionización de los segundos en casi cualquier dilución; pero es enteramente inaplicable a los electrólitos fuertes puesto que se encuentran completamente ionizados en todas las concentraciones.

METODO EMPLEADO

GENERALIDADES

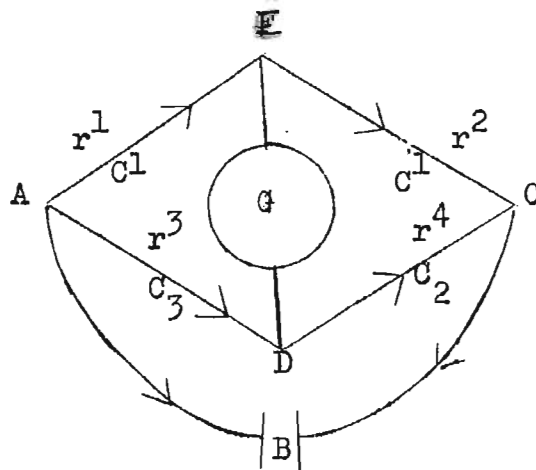
Las determinaciones del presente trabajo se efectuaron en el aparato Philips: y se usó la Célula de Medida Tipo G.M.42.21 factor 1.46.

El Puente Philips para medida de conductibilidades sirve para determinar y comparar resistencias y conductibilidades específicas de soluciones acuosas, siendo al mismo tiempo adecuado para la medida de resistencias ohmicas.

El puente de medida se basa en el principio del puente de Wheatstone. Principio del Puente de Wheatstone.

Red Wheatstone: El sistema de conductores AE, EC, AD, DC representado en la figura # 2

Figura 2.



cuyos puntos A y C están en comunicación con los polos de una batería B y los puntos E y D están conectados entre sí a través de un galvanómetro que se llama "Paralelogramo" o puente Wheatstone y sirve para medir resistencias cuando tres de las resistencias de los conduc-

tores del paralelogramo son conocidas. Si se designan por r_1, r_2, r_3, r_4 , las resistencias de los cuatro conductores indicados en la figura # 2, la condición que debe cumplir para que el galvanómetro no acuse corriente alguna es $r_1/r_2 = r_3/r_4$. En efecto para que no pase corriente a través del aparato es preciso que los puntos E y D se encuentren al mismo potencial, y si designamos por c_1 la corriente que pasa por el circuito AEC y por c_2 la que atraviesa el ADC la aplicación de la ley de Ohm permite establecer las cuatro igualdades siguientes en las que $e_1 - e_2, e_3$ y e_4 son fuerzas electromotrices correspondientes a los cuatro conductores de resistencia r_1, r_2, r_3, r_4

$$e_1 = c_1 r_1, \quad e_2 = c_1 r_2, \quad e_3 = c_2 r_3, \quad e_4 = c_2 r_4$$

pero estando los conductores AD y AE en contacto con el punto A, el potencial de ambos en este extremo es el mismo, e igual ocurre en sus extremos E y D puesto que hemos admitido que por el galvanómetro no pasa corriente alguna; luego la diferencia de potencial e_1 entre A y E es igual la e_3 entre A y D.

Analogamente se deduce que $e_2 = e_4$ resulta finalmente,

$$r_1 c_1 = r_3 c_2$$

$$r_2 c_1 = r_4 c_2$$

y dividiendo una por otra estas dos igualda-

des
$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4}$$

o bien
$$r_1 \times r_4 = r_2 \times r_3$$

Esta condición demuestra que si conocemos r_2 y la relación de la resistencia r_3 y r_4 podemos calcular r_1 por la fórmula:

$$r_1 = r_2 \times \frac{r_3}{r_4}$$

siempre que el galvanómetro marque una indicación cero.

La resistencia de una batería o de un galvanómetro puede determinarse modificando el montaje del paralelogramo de WHEATSTONE para intercalar en uno de sus lados el aparato o la batería colocando un interruptor en el puente EB. Si al cerrar el interruptor no se produce cambio ninguno en la indicación del galvanómetro la resistencia de los cuatro lados del paralelogramo verifican condiciones antes deducidas.

Se llama puente de WHEATSTONE a una combinación de resistencias dispuestas para facilitar la medida de resistencias desconocidas utilizando los resultados deducidos anteriormente.

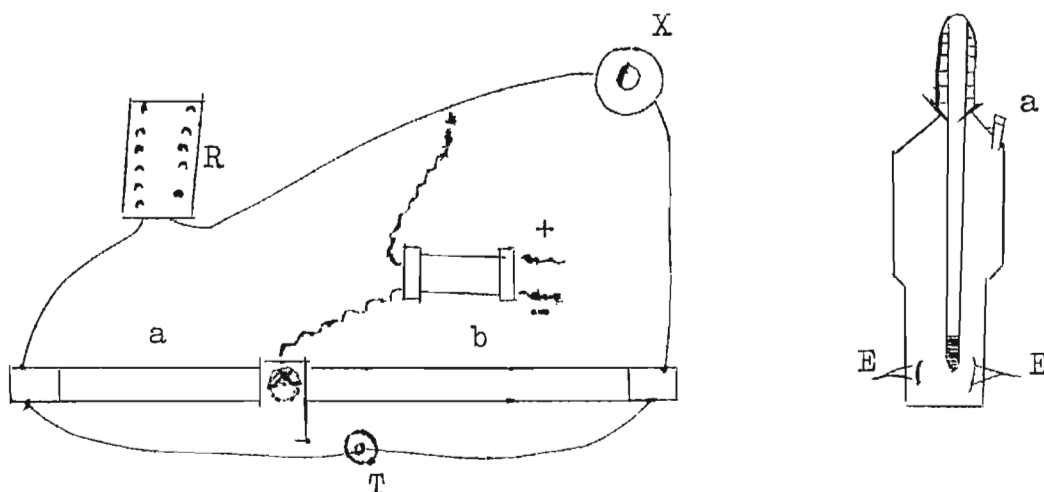
Se emplea también puentes WHEATSTONE llamados de caja que carecen de alambre tenso en los cuales la resistencia r_3 y r_4 no pueden tomar valores cualesquiera inferiores a su suma, sino una de serie combinaciones de valores

en relaciones 1 : 1, 1 : 10, 1 : 100,
 1 : 1000, 1000 : 1, 100 : 1, 10 : 1, y un
 juego de resistencias auxiliares por medio de
 las cuales la de la rama EC puede tomar valo-
 res diferentes entre 1 y 10.000 ohmios.

Si la relación de las ramas de propor-
 ción es 1: 1, la resistencia de la rama de
 comparación es igual a la resistencia que se
 mide pero en cambio si fuera 1 : 10, 1 : 100,
 etc., la relación de las ramas de proporción
 lo que se mide sería 10, 100, etc., veces ma-
 yor que la rama de comparación.

Hay un tipo sencillo de puente WHEATSTONE
 llamado puente métrico por tener 1 metro de
 longitud el alambre que constituye las re-
 sistencias variables. En algunas partes to-
 davía se usa y lo describo a continuación;
 como ilustración al presente trabajo: Puente
 WHEATSTONE modificado por KOHLRAUSCH está re-
 presentado esquemáticamente así:

Figura 3.



a) Un pequeño carrete de inducción provisto de un interruptor cuya pluma puede vibrar rápidamente a modo de producir un sonido similar al zumbido de un zancudo.

b) Un hilo de platino a-b de diámetro aproximado de 0.2 mm. uniformemente calibrado y tendido sobre una regla de la longitud de 1 metro dividida en milímetros sobre la cual corre un índice móvil (e) que sirve para establecer el contacto con el hilo mismo.

c) Una caja de resistencia exactamente calibrada.

d) Un pequeño receptor telefónico T de caja.

2) Una célula X formada por un recipiente de vidrio atravesado por un termómetro dividido en décimas de grado, y de dos electrodos de platino platinados.

Esta es la disposición mejor para que no se depositen sobre los electrodos como sucede con aquellos horizontales los precipitados que se forman con el agregado de reactivos.

Más específicamente nos referiremos aquí a la célula DUTOIT provista de electrodos verticales E E.

Ella está hecha de modo que 50 cc. de líquido cubran los electrodos mientras permanece todavía una cantidad aproximada de 10 cc. de volumen para el agregado de reactivos, en fin tiene un termómetro sensible al décimo de gra-

do que hace cuerpo con la célula.

Lateralmente hay una abertura que permite la introducción de los reactivos. Se tapa este agujero, se agita después de cada agregado se calienta si se necesita hasta mantener la temperatura escogida que debe ser dos grados o tres más que la del ambiente.

3) Un termostato constituido por un baño de agua para mantener constante la temperatura del líquido contenido en las células ya mencionadas porque es condición esencial para la exactitud del ensayo que las varias lecturas sean hechas a la misma temperatura.

MODO DE OPERAR

Puesto a punto el aparato como se ha indicado necesita sobre todo, si no se ha hecho precedentemente determinar la capacidad de la célula eléctrica. A este propósito se observa que según el sistema general de medidas el valor de la conductibilidad eléctrica de un electrodo es referida a la conductibilidad específica unitaria esto es al valor recíproco de resistencia que presenta una sección del líquido que se encuentra entre los dos electrodos paralelos de 1 cm^2 de sección, puestos a la distancia de 1 cm.

En la práctica para obviar las dificultades de tener que disponer de electrodos que se

encuentran en las condiciones ya dichas se usan electrodos de superficie arbitraria, puestos a las distancias más convenientes y se comprueba con una experiencia preliminar, qué resistencia y por consiguiente qué conductibilidad presenta en tales condiciones una solución tipo, de resistencia específica y conductibilidad conocida. Haciendo después la relación entre el valor de la conductibilidad encontrada a una determinada temperatura (18° C), para dicha solución en la célula electrolítica que se usa, y la que ella tendría en la célula unitaria, se obtiene un factor de reducción (K) que permite transformar la conductibilidad específica; este factor suele definirse capacidad de la célula electrolítica y se puede determinar de cuando en cuando, pero no es malo controlarlo frecuentemente.

Determinación de la capacidad de la célula electrolítica. Se necesita sobre todo preparar la solución tipo de conductibilidad específica conocida; en la práctica se usa solución normal de cloruro de potasio que según KOHLRAUSCH tiene a 18° C una conductibilidad específica 0.02399 y que se prepara disolviendo 1,492 Gr. exactos de ClK purísimo y calcinado, en agua varias veces destilada llevando el volumen exactamente a 1 litro. Para hacer la determinación se lava cuidadosamente la cé-

lula con la solución tipo, se introducen después 50 cc. que deben cubrir los electrodos, se pone la célula en el termostato a 18°C y después de algunos minutos unimos los electrodos con el aparato, hacemos actuar la corriente de inducción y regulando oportunamente la resistencia del reostato quitando oportunamente el correspondiente número de clavijas de modo que el receptor telefónico dé el mismo sonido cuando el índice móvil se encuentra aproximadamente a la mitad de la regla graduada. Encontrando con el máximo cuidado el punto cero se calcula la resistencia x de solución tipo con la fórmula:

$$(1) \ x = \frac{Rb}{a}$$

R = Resistencia conocida intercalada.

a y b = Distancia expresada en centímetros entre el índice móvil y los extremos de la regla.

La conductibilidad C será expresada por el valor recíproco o sea:

$$(2) \ C = \frac{a}{Rb}$$

Esta medida es bueno repetirla varias veces cambiando el valor de la resistencia conocida del reostato, y el líquido de la célula, después se toma la medida de los valores encontrados.

Sabiendo pues que la conductibilidad específica (K) de un electrolito es dada por la fór-

$$\text{mula } (3) K = \frac{a}{Rb} \times k$$

Donde k representa la capacidad de la célula, se deduce el valor del factor de reducción relativa a la capacidad de la célula aplicando esta otra fórmula, donde (4) $K = \frac{k \times Rb}{a}$
 Ej: Supongamos haber seguido la determinación de la capacidad de una célula electrolítica y haber encontrado los siguientes valores, intercalando resistencias diferentes conocidas:

R	a	$\frac{a}{b}$	$\frac{a}{Rb}$	Media
Ohms 30	Cm 35.5	0.5504	0.01834	0.01832 $K = \frac{k}{\frac{a}{Rb}}$
40	42.3	0.7331	0.01832	
50	47.8	0.9157	0.01831	

APLICANDO LA FORMULA (4) $K = \frac{k \times Rb}{a}$ y sustituyendo en ésta los valores numéricos encontrados tenemos que $K = \frac{0.002399}{0.01832} = 0.1309$

DETERMINACION DE LA CONDUCTIBILIDAD ELECTRICA DE LAS AGUAS.

Se lava cuidadosamente la célula con el agua en examen, se introducen 50 cc. en la célula, se pone la célula en el termostato a 18°C, se pone en acción el ~~carrete~~ carrete de inducción e intercalando una oportuna resistencia conocida, se determina el punto cero del teléfono y se calcula la conductibilidad específica k con la fórmula

$$K = \frac{a \times K}{Rb}$$

a y b = distancia entre el índice móvil y la extremidad de la regla

R = Resistencia conocida.

DESCRIPCION DEL APARATO USADO DURANTE EL PRESENTE TRABAJO.

Aparato Philips: Puente para la medida de conductibilidades.

El puente Philips para medida de conductibilidades sirve para determinar y comparar resistencias y conductibilidades específicas de soluciones acuosas, siendo al mismo tiempo adecuado para la medida de resistencias ohmicas.

Para realizar las medidas de este trabajo se utilizó la célula de inmersión tipo 1.46

El circuito puede alimentarse a voluntad de una tensión alterna procedente del transformador de alimentación o del oscilador incorporado de 1000 c/s. El aparato comprende cierto número de resistencias patrón con las que pueden compararse las resistencias a medir.

En la posición llamada de puente abierto se pueden utilizar patrones exteriores a fines de comparación el aparato lleva también una posición en la que pueden leerse en porcentaje las desviaciones respecto a patrones de comparación externos. La marcación del e-

quilibrio del puente se hace por medio de un indicador de rayos catódicos de dos sensibilidades. El aparato es apropiado para uso en los trópicos.

CELULAS PARA LA MEDIDA DE CONDUCTIBILIDAD

La célula de inmersión, que se coloca en el líquido a medir, comprende un par de electrodos de platino, que, a fin de evitar polarización, van recubiertos con una fina capa de negro de platino. En la célula los electrodos van montados verticalmente en forma que no puedan formarse burbujas de aire que influirían en las medidas. En cada celda de inmersión está indicada una "constante de calibrado" la cual ha de multiplicarse por los valores de resistencia encontrados en el puente para obtener la "resistencia específica" del líquido. Este valor de calibrado se mantiene constante incluso después de un prolongado uso. Como la resistencia específica de un líquido depende fuertemente de la temperatura del mismo es necesario colocar un termómetro en el líquido durante las medidas, el cual habrá de situarse lo más cerca posible de las células de inmersión. El termómetro debe ser suficientemente exacto para poder apreciar bien 0.2°C .

DATOS ELECTRICOS

Márgenes de Medida

Resistencias óhmicas:	0.5 ohmios	10 ohmios
	5 "	100 "
	50 "	1000 "
	500 "	10.000 "
	5000 "	0.1 mego- homios
	0.1 Mgh.	10

Resistencias específicas de líquidos:

(0.5 ohmios a 10 megohomios) x la constante de la célula.

Escala Porcentual:

La escala porcentual va de -20% a + 25%.

Errores.

Error absoluto de medida (incluido error de lectura)

Escala I

En el centro de la escala : $< 1.5\%$

El error aumenta lentamente desde $< 1.5\%$ hasta $< 3\%$ a los finales de la escala.

Escala II (margen 10^6)

En el centro de la escala $< 2.5\%$

El error aumenta lentamente desde $< 2.5\%$ hasta $< 5.5\%$ a los finales de la escala.

Posición del puente abierto (escala II)

En el centro de la escala $< 1.5\%$ el error aumenta lentamente hasta $< 4.5\%$ a los finales de la escala.

Posición %.

En el centro de la escala < 1.5 aumentado

lentamente hasta < 4.5 a los finales de la escala.

Posición. % = En el centro de la escala 0.2 aumentando lentamente hasta 0.6% a los finales de la escala.

Alimentación. Mediante un conmutador giratorio de tensiones el aparato puede ajustarse a tensiones de red de 110, y 125, 145, 200, 220 y 245 V, 40-100 c/s. Variaciones de la tensión de red de -10% no tienen prácticamente ninguna influencia sobre la exactitud de las medidas. La potencia consumida de la red es de unos 20 W. El transformador de alimentación lleva un fusible térmico V_{L1} .

Válvulas.

El aparato comprende las siguientes válvulas:

- 1 válvula amplificadora EF 40
- 1 indicador de rayos catódicos EM 4
- 1 válvula osciladora EL 42
- 1 válvula rectificadora EZ 40

INSTALACION.

Ajuste la tensión local de red.

El aparato se puede ajustar a la tensión local de red por medio del conmutador giratorio de tensiones, que es accesible después de quitar la tapita de la pared posterior (sáquese el conmutador, gírese hasta que quede hacia arriba la tensión correspondiente y vuélvase a introducir el conmutador).

Conexión.

La borna de tierra que va al costado izquierdo del aparato se ha de conectar a una buena toma de tierra antes de conectar el aparato a la tensión de la red.

Al ajustar el puente, cuídese de que no haya en las inmediaciones de la borna central (Bu_2) campos alternos eléctricos o magnéticos, ya que ello proporcionaría indicaciones erróneas o un mínimo dudoso.

Para reducir las perturbaciones debidas al propio cordón de conexión a la red, éste va blindado y el blindaje conectado a la borna de tierra.

MANEJO

Conexión a la red.

La conexión se hace introduciendo el enchufe en el tomacorriente de la red.

El aparato está listo para utilizarse hasta en cuanto las válvulas han alcanzado su temperatura de régimen.

Alimentación del circuito puente.

El circuito puede alimentarse a voluntad con una tensión de frecuencia de la red, tomada directamente del transformador de alimentación del aparato o sea con una tensión de 1000 c/s proporcionada por un oscilador incorporado; para eso se coloca el conmutador SK_3 en la posición 50 o en la posición 1,000 respectivamente. Con la frecuencia de la red

se puede producir la electrólisis o polarización sobre todo durante las medidas en líquidos con una baja resistencia con lo que se producen resultados erróneos. En tales casos se alimentará el puente por tanto con la tensión disponible de 1,000 c/s (unos $3/5$ V) al hacer medidas en líquidos con una resistencia mayor, son menores las probabilidades de polarización y en algunos casos es preferible reaalizar las medidas alimentando el puente con una tensión de frecuencia de la red ya que en el caso eventual que se presenten capacidades parasitarias en el circuito del puente es más fácil encontrar el equilibrio puente con alimentación en baja frecuencia.

CONTROL

Colocando el conmutador SK_1 en posición "Check" se puede verificar la marcación del indicador.

Mediante el mando R_1 se ajusta el indicador de los rayos catódicos a la deflexión mínima (sector sombreado máximo).

El indicador deberá encontrarse exactamente en el centro de la escala (punto I de la escala II).

Ajuste de la sensibilidad y compensación de fase durante las medidas.

La sensibilidad del ajuste puede regularse por medio del mando R_2 a la derecha del aparato. En algunos casos es aconsejable no

girar totalmente a la derecha este mando (máxima sensibilidad).

Cuando durante la medida de los líquidos desconocidos no se encuentra un mínimo, se habrá de reducir la sensibilidad hasta apreciar claramente que la marcación del indicador decrece al girar a la derecha o a la izquierda al mando R_1 .

En el primer caso se conmutará a un margen de medida más alto, en el segundo a un margen más bajo. Para esto se puede hacer uso de la parte menos sensible del indicador, mientras que para la determinación del mínimo exacto se deberá usar la parte más sensible.

Debido a la presencia de elementos parasitarios en el circuito puente, es sencillamente imposible obtener un mínimo exacto. Para los tres márgenes de medida más alto ($10^6 - 10^5 - 10^4$) se procede de la siguiente forma: Con sensibilidad reducida (R_2) se equilibra el puente lo mejor posible usando el mando R_1 corriendo luego el mínimo dudoso ajustando el mando R_3 C_1 (marcado O-Corr) a la izquierda abajo en el aparato. La sensibilidad del puente de medida se eleva luego paulatinamente al máximo (R_2 a que tope a la derecha) mientras que se corrige el punto cero con la ayuda de los mandos O-Corr y R_1 . En los márgenes de medida mencionados con el

mando O-Corr se ajusta un condensador variable que mediante el conmutador SK_2 se puede conectar en el paralelo tanto sobre la resistencia patrón R_s como sobre la resistencia desconocida R_x a fin de compensar eventuales capacidades parásitas presentes en el circuito puente. Esta conexión en el paralelo del condensador es variable y se hace por tanteos.

En los tres márgenes de medida bajos ($10^3 - 10^2 - 10$) por el contrario se acciona con el mando O-Corr un potenciómetro variable del que se toma una tensión de corrección para compensar una tensión de polarización eventualmente presente que venga a influir el equilibrio del puente. Para esto se gira a tope a la izquierda al mando O-Corr y se busca el mínimo con R_1 , a continuación se gira el mando O-Corr y en caso necesario, R_1 hasta encontrar una desviación mínima.

Capacidad admisible de las conexiones entre el puente de medida y la célula de medida.

La capacidad de compensación ajustable con el botón O-Corr se lleva al mínimo ($R_3 C_1$, tope a la izquierda) y con ayuda del conmutador SK_2 se conecta en paralelo sobre la resistencia patrón R_s (Bornas Bu_1 y Bu_2) La capacidad admisible sobre R_x se puede encontrar entonces en la tabla adjunta.

Eventualmente siempre es posible conectar una capacidad suplementaria sobre la re-

sistencia patrón R_s , con lo que se puede aumentar naturalmente la capacidad admisible de la resistencia desconocida R_x .

SK ₁ en la posición	Capacidad admisible sobre R_x	Valor de la resistencia a medir
10^6	10 pf	10 M Ω
	100 "	1 "
	1,000 "	0.1 M "
10^5	100 "	0.1 " "
	1,000 "	10,000 Ω
10^4	100 "	10,000 "
	1,000 "	1,000 "

Medida de Conductibilidad.

Conéctense las bornas de la célula de medida con bornas Bu_2 y Bu_3 indicadas en la placa de texto del puente de medida con la letra " R_x " a continuación se coloca la célula en el líquido a medir. El espacio en que se encuentran los electrodos de platino debe estar totalmente lleno de líquido. Al emplear la célula de inmersión no hace falta sumergir más la célula en el líquido.

Al emplear la célula de inmersión se recomienda menear con ella el líquido, en tal caso se tiene la seguridad de que la solución tiene la misma concentración entre los electrodos y fuera. De esa forma se pueden eliminar, además, eventuales burbujas de aire.

Como la conductibilidad de un líquido es fuertemente dependiente de la temperatura del

mismo es necesario colocar en el líquido un termómetro, de forma que se haga la medida con una temperatura conocida.

2.- Colóquese el conmutador SK_3 en la posición "1000" si hubieran de medirse líquidos buenos conductores. El conmutador SK_3 puede colocarse por el contrario en la posición "50" al realizar medidas en electrolitos muy poco concentrados, condensaciones, etc.

3.- Selecciónese el margen de medida mediante el conmutador SK_1 de forma que el valor probable de la resistencia del líquido quede comprendido en tal margen.

4.- Ajústese la desviación del indicador electrónico por medio del mando R_1 hasta que se obtenga un mínimo. La sensibilidad puede ajustarse por medio del mando R_2 . En caso necesario conmutese otro margen de medida mediante SK_1 . Si no se logra un mínimo definido, se puede introducir una corrección por medio del mando R_3 C_1 (0- Coor).

Véase también "ajuste de la sensibilidad y compensación de fase durante las medidas".

5.- El valor de la resistencia R_X se tiene multiplicando el número dado por la posición del conmutador SK_1 por la marcación del índice en la escala correspondiente, como se indica a continuación:

Margen de medida	Posición de SK ₁	Marcación en la Escala	Marcación de la escala multiplicada por:
0.5 - 10	Ω . 10	I	10 Ω
5 - 100	" 10 ²	I	10 ² "
50 - 1,000	" 10 ³	I	10 ³ "
500 - 10,000	" 10 ⁴	I	10 ⁴ "
5000 - 100,000	" 10 ⁵	I	10 ⁵ "
0.1 - 10M	" 10 ⁶	II	1M "

Para la medida de resistencias superiores a los 10 megohmios se puede hacer uso de la posición de "puente abierto" como se indicará.

6.- La resistencia específica de un líquido se obtiene a continuación multiplicando la resistencia encontrada R_x por la constante de calibrado de la célula o sea:

$$\text{Resistencia específica} = c R_x \text{ ohmios.cms.}$$

c = constante de calibrado de la célula

medida casi siempre entre 1.50 y 2.20.

7.- La conductibilidad específica será por tanto:

$$\text{Conductibilidad específica} = \frac{1}{cR_x} \text{ ohmios}^{-1}\text{cm.}^{-1}$$

De la conductibilidad específica se puede deducir a continuación la concentración de la solución, a base de las tablas existentes para ello.

Para obtener números enteros es usual

multiplicar este valor por 10^6 de forma que la expresión viene a quedar: conductibilidad específica = $\frac{10^6}{cR_x} 10^{-6} \text{ ohmios}^{-1} \text{ cms}^{-1}$

Ejemplo: Encontrar la conductibilidad específica de una solución traída del ausol de La Labor (23 IX 58). La determinación a 18°C # dado por la posición del conmutador $SK_1=0.115$ Marcación del índice en la escala correspondiente = 10^4 .- Resistencia = R_x .- e= constante de calibrado = 1.46.- $R_x = 0.115 \times 10^4 = 1150$ Resistencia específica = $1150 \times 1.46 = 1769$ ohmios x cms.

Conductibilidad específica = $\frac{1}{1769} = 0.000595$.

Para obtener números enteros en mis determinaciones he multiplicado por 10^4 Conductibilidad específica = $5.95 \cdot 10^4 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ medidas en posición de puente abierto y en posición de % no efectué durante mi trabajo; si se desean datos, consúltese el catálogo.

Señalización de alteraciones de la conductibilidad.

A la derecha del aparato se encuentra un par de bornas Bu_4 y Bu_5 (marcadas Vo) que van conectadas interiormente con el cerrado del indicador electrónico y con la masa respectivamente.

Cuando el puente se encuentra equilibrado es posible tomar de esas bornas una señal para accionar un revelador electrónico Philips

GN 4801 o GM 4803, el que a su vez puede poner en funcionamiento un dispositivo de alarma (lámpara roja sirena) véanse para ello las correspondientes indicaciones en el modo de empleo. En la mayoría de los casos la tensión suministrada por el puente es superior a la necesaria, mediante el mando R_2 se puede ajustar tal tensión al valor adecuado. Si el puente se alimenta con una tensión de 1600 c/s (SK_3 en posición 1000) EL REVELADOR electrónico se accionará tanto al excederse al límite máximo como al mínimo de la conductibilidad ajustada para el líquido.

Si por el contrario se alimenta el puente con una tensión de 1000 c/s (SK_3 en posición "50") se conectará el revelador para la sensibilidad de fase, es decir, para que accione para excederse la conductibilidad máxima o mínima. Para esto se conecta entre las bornas Bu_4 y Bu_5 de aproximadamente 4700pf a fin de evitar la influencia perturbadora de los armónicos de la tensión de alimentación del puente.

Invirtiendo la tensión de alimentación del revelador electrónico (o sea invirtiendo el enchufe de conexión a la red) se puede escoger el límite inferior o superior. Es recomendable además, conectar el revelador electrónico de tal forma que la válvula reveladora de tal aparato deje pasar corriente en condiciones normales de funcionamiento. De esta forma se se-

ñalará igualmente cualquier situación anormal (por ej. la avería de una válvula amplificado ra, interrupción de la red, etc.)

Observaciones.

Si se produce en el aparato un ruido molesto propio éste se puede reducir al mínimo por medio del potenciómetro antizumbido (R_4) visible a través de una abertura en el panel posterior. Sin embargo para ajustarlo el aparato habrá de abrirse y sacar de su soporte la válvula E_1 42, a continuación se coloca el conmutador SK_1 en la posición 10^6 y en el conmutador SK_3 en la posición "1000" gírese el mando R_4 de tal forma que sea mínima la desviación del indicador. La válvula E.L.42 puede volverse a colocar entonces y cerrar el aparato.

2.- Durante las medidas manténgase el aparato apartado de campos perturbadores.

Mantenimiento de las Células de Medida.

La célula de medida se guardará sumergida en agua destilada.

Si la célula hubiera permanecido durante algún tiempo seca (por un transporte por ejemplo) habrá de limpiarse perfectamente con alcohol puro a fin de eliminar todo resto de líquidos medidos con anterioridad. A continuación, la célula se enjuaga con agua destilada. Si la célula no está perfectamente limpia, no se obtendrán en las medidas resultados seguros.

Replatinado de los Electrodo.

Si a consecuencia de la limpieza o por alguna otra causa se deteriora la capita de negro de platino, los electrodos habrán de platinarse de nuevo. Para hacerlo, se habrá de quitar primero cuidadosamente el negro de platino con una plumita fina: si ello no se lograra, es posible disolver los restos que quedan con agua regia. A continuación se limpia perfectamente la célula con agua destilada, se desengrasan los electrodos con una solución caliente de Bicromato de potasio y Acido sulfúrico. Después de haber vuelto a lavar perfectamente la célula, se puede iniciar el platinado; para ello la célula se coloca en una solución de la siguiente composición:

1 parte de cloruro de platino
0.008 partes de acetato de plomo
30 partes de agua destilada.

Se conecta entonces la célula de medida en serie con una resistencia variable y un miliamperímetro sobre un acumulador de 4 voltios, ajustándose la intensidad de la corriente a 30 mA mediante la resistencia variable. El replatinado puede durar de 3 a 10 minutos, en el entendido de que para medidas normales 3 minutos es suficiente e incluso mejor y que sólo para medidas de resistencias específicas de 1000 ohmios cm. y menos es preferible dar un replatinado de 10 minutos de duración, de modo que

resulte más gruesa la capa de negro de platino. A continuación se invierten las conexiones en la célula y se platina en forma análoga el segundo electrodo.

Hay que notar aquí que esto no tiene influencia alguna sobre la capa ya formada sobre el primer electrodo, de forma que no hace falta usar otro ánodo de platino extra.

Finalmente se coloca la célula de medir después de enjuagada en agua destilada, en una solución rebajada de ácido sulfúrico (al 5%) conectando alternativamente durante algunos minutos los terminales al acumulador de 4 voltios.

Después de volver a enjuagar la célula en agua destilada tibia, queda lista para utilizarse.

Control de la constante de calibrada.-

Si se desea controlar la constante de calibrado, después de un uso múltiple y prolongado por ejemplo, o después de haber vuelto a platinar los electrodos para lo que se ha utilizado agua regia rebajada, se procederá de la siguiente forma: Hágase el calibrado en una solución cuya resistencia específica sea exactamente conocida, médase una solución de cloruro de potasio 1/50 normal (esto es 1.4910 g ClK disuelto en agua destilada pura y completada hasta un volumen de 1000 c.c. a 20° C) Como la resistencia específica depende fuertemente de la temperatura, ésta ha de mantenerse constante y con

toda exactitud durante la medida (desviación máxima 0.20°C). En la tabla siguiente se dan para diversas temperaturas, los valores correspondientes de la resistencia específica de las soluciones normales 1/50 y 1/100.

La constante "C" de la célula se encuentra entonces dividiendo la resistencia específica por el valor de la resistencia encontrada en el puente, o sea $C = \frac{P}{R}$

Temperatura °C	Resistencia específica de una solución 1/50 N de CLK <u>P(ohmios.cm)</u>	Resistencia específica de una solución 1/100 N de CLK <u>P(ohmios.cm)</u>
15	446	872
16	436	852
17	426	834
18	417	817
19	408	800
20	400	782
21	392	766
22	384	751
23	376	736
24	369	721
25	362	708

Técnica empleada

De las muestras de agua para analizar usé para cada determinación de 200 a 250 ml.

Es importante que el material que se va a utilizar (de preferencia beakers de pyrex) se encuentre perfectamente limpio, siendo necesario un previo enjuague con la muestra; una vez las muestras de agua en los beakers se lleva a un refrigerador hasta alcanzar la temperatura

a que se va a realizar la lectura, en este caso 18°C . Prácticamente se deja que la temperatura sea menor y en el tiempo que transcurre en sacar la muestra sube la temperatura a 18° , realizándose en ese instante la lectura. Durante la medida se coloca un termómetro en el líquido lo más cerca posible de la célula de inmersión. El termómetro debe poder apreciar bien 0.2°C .

La máxima desviación admisible durante las lecturas es de 0.2°C .

A 18°C las soluciones salinas ofrecen sus condiciones óptimas como electrolitos no favoreciendo ni aumentando su conductibilidad eléctrica, sino que esta temperatura manifiesta sus condiciones normales de conductibilidad.

Para verificar la determinación se coloca la célula en el líquido a medir, debiendo agitar con ésta al líquido para que la muestra sea uniforme y evitar burbujas de aire.

Por haber realizado todas las lecturas a 18° no hubo necesidad de hacer correcciones.

Para las determinaciones, seguir las instrucciones descritas en el manejo del aparato para medidas de conductibilidades.

PROVENIENCIA DE LAS MUESTRAS

Las muestras de aguas y suelos del presente trabajo, fueron tomadas por el Servicio Geológico Nacional y fueron analizadas en cuanto a conductibilidad en los Laboratorios de la Facultad de Ciencias Químicas.

Los datos de sulfatos, cloruros y residuo químico fueron tomados de la tesis de la Doctora Noemí Valiente y los cuadros que relacionan los análisis anteriores con la conductibilidad siguen su misma numeración, ya que éste y este trabajo forman parte de un estudio referente a un posible aprovechamiento de la energía geotérmica que realiza el Servicio Geológico Nacional.

Las muestras provienen: de campos fumarólicos, fuentes, pozos, ríos y de perforaciones profundizadas en las prospecciones geotérmicas del Servicio Geológico Nacional.

Sitios donde se tomaron las muestras y áreas de trabajo: Consultar gráficas #1 y #2 de la tesis de la Dra. Valiente.

RELACION DE RESISTENCIA CON TEMPERATURA

En este ensayo usé los ácidos: Clorhídrico, Sulfúrico y Acético a concentraciones de uno por mil, medio por mil, cuarto por mil y un octavo por mil.

Verificando las lecturas de resistencia a temperaturas que van de 18° a 40°C. (Ver tabla II y gráficas 1, 2 y 3).

El resultado en estos análisis demuestra:

1o.- Que la variación de la resistencia es menor cuando aumenta la concentración en cada uno de los ácidos, según se puede ver en la tabla I.

TABLA - I (Resistencia en Ω)

	HCl		H ₂ SO ₄		CH ₃ COOH	
	18°	40°	18°	40°	18°	40°
1-% _o	108	89	443	408	5387	4277
1/2% _o	208	176	186	562	1840	5898
1/4% _o	370	302	241	950	10658	8044
1/8% _o	680	537	283	2190	17082	1942

2o.- Que la resistencia aumenta con la temperatura.

3o.- Que es el ácido sulfúrico el que tiene una variación menor, siendo ésta mínima en sol. 1%_o.

Por consiguiente será de recomendar usar el Acido Sulfúrico al 1%_o ya que a esta concentración las variaciones de la resistencia con la temperatura son mínimas y por consiguiente el error de la lectura con respecto a la temperatura es muy bajo. (Véase Gráfica 2)

TABLA II

RESISTENCIA A DIVERSAS TEMPERATURAS

	°C.	Resistencias Ω a concentr. de			
		1 % _g	1/2% _o	1/4% _o	1/8% _g
<u>Sol. H₂SO₄</u>	18	108	209	371	680
	21	104	203	365	650
	24	101	196	343	628
	27	98	193	342	591
	30	94	188	330	585
	37	93	175	310	552
	40	89	177	302	537
<u>Sol. HCl</u>	18	444	787	1241	2803
	21	458	755	1180	2789
	24	456	731	1127	2686
	27	451	680	1079	2613
	30	450	644	1050	2482
	37	442	591	958	2263
	40	409	562	950	2190
<u>Sol. CH₃COOH</u>	18	5387	7840	10658	17082
	21	5373	7738	10220	16060
	24	5081	7154	9709	15184
	27	4803	6580	9227	15184
	30	4716	6577	9198	15184
	37	4395	5957	8468	7942
	40	4278	5898	8044	7942

RESULTADOS DE MUESTRAS DE AGUA.

Se determinó conductibilidad a muestras de aguas de ríos, fuentes, pozos, ausoles activos, ausoles apagados y perforaciones.

En los cuadros siguientes están los datos referentes a conductibilidad, SO₄^{''}, Cl['], y residuo químico.

Los máximos y mínimos de conductibilidad y cloruros son:

TABLA III

	Conductibilidad ($10^4 \Omega^{-1} \times \text{cm}^{-1}$) ppm. Cl^-			
	<u>Máximo</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Mínimo</u>
Perf.	9.2	1.0	1.43	7.
Aus. Ac.	34.1	2.4	85.	21.3
Aus. Ap.	1.2	0.5	56.7	7.
Ríos	1.7	0.5	56.7	42.5
Pozos	3.2	1.4	106.4	42.5
Fuentes	2.8	1.2	63.8	35.4

DISCUSION DE LA GRAFICA 4

En la gráfica #4 se relacionan Cl^- y Conductibilidad. Puede observarse que:

1.- La mayoría de las muestras están en 60 ppm de Cl^- y $7 \cdot 10^4 \Omega^{-1}$ por cm^{-1} de conductibilidad.

2.- Las muestras que acusan mayor conductibilidad son las de los ausoles activos.

3.- Esa mayor conductibilidad no corresponde a los más altos contenidos en Cl^- .

4.- No existe correlación entre Cl^- y conductibilidad.

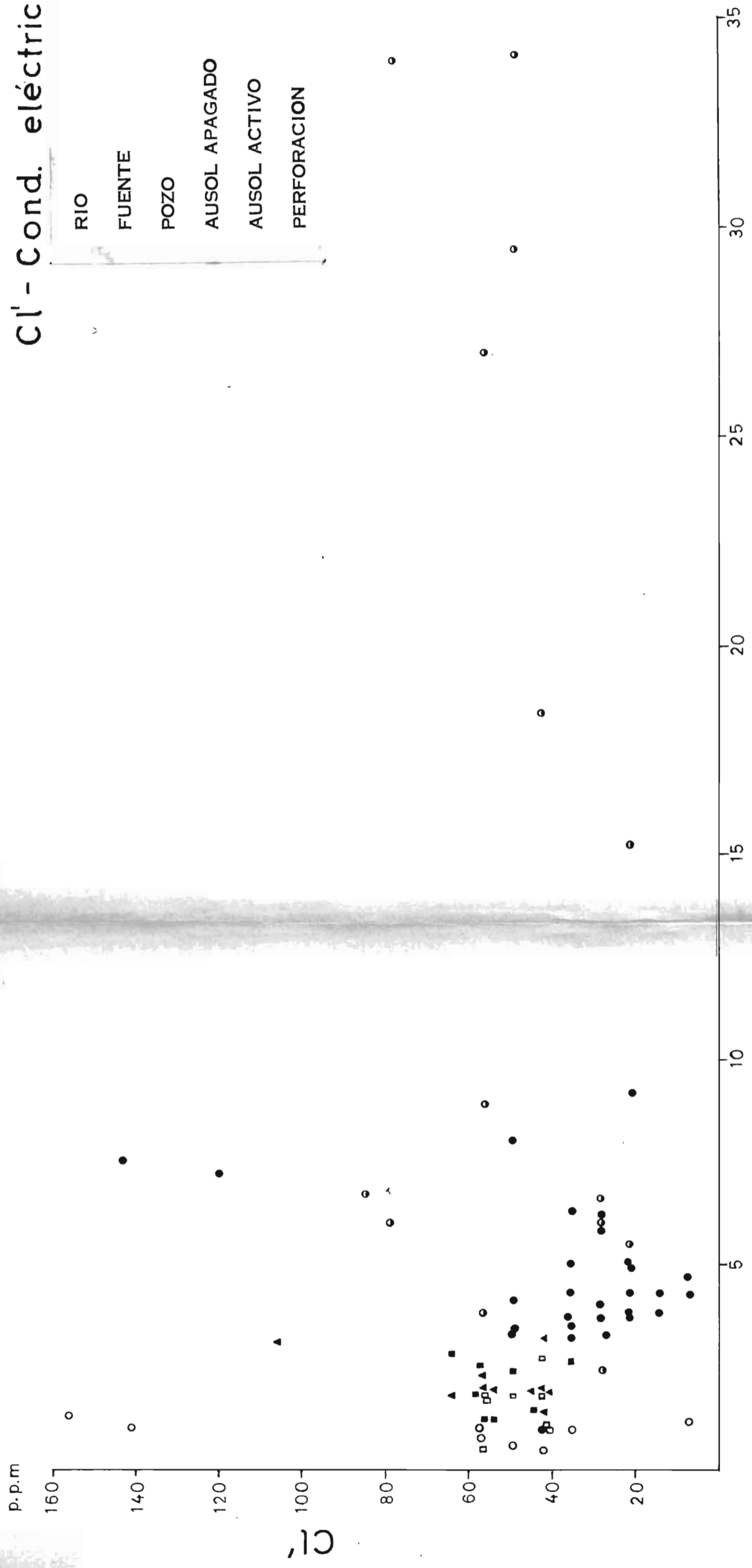
5.- Esas muestras tienen valores de conductibilidad relativamente bajos.

RELACION DE SULFATOS Y CONDUCTIBILIDAD.

Estudiando los cuadros que dan los datos de sulfatos y conductibilidad, se observa que los

Relación Cl⁻ - Cond. eléctrica

- RIO
- FUENTE
- ▲ POZO
- AUSOL APAGADO
- ◐ AUSOL ACTIVO
- PERFORACION



10⁴ · Ω⁻¹ · cm⁻¹

GRAF.-4

valores máximos en conductibilidad son los de ausoles activos y perforaciones correspondientes a esas mismas muestras los valores más altos den sulfatos. Los valores mínimos de $SO_4=$ están dados por pozos siendo un poco más altos en los ríos.

TABLA IV

	Conductibilidad $10^4 \Omega^{-1} \times \text{cm}^{-1}$		Sulfatos ppm	
	<u>Máximo</u>	<u>Mínimo</u>	<u>Máximo</u>	<u>Mínimo</u>
Perf.	9.2	1.0	235.8	2.7
Aus.Ac.	34.1	2.4	1115.8	55.1
Aus.Ap.	1.2	0.5	21.6	0.6
Ríos	1.7	0.5	51.4	5.4
Pozos	3.2	1.4	31.0	2.0
Fuentes	2.8	1.2	46.3	6.6

DISCUSION DE LA GRAFICA # 5

En esta gráfica se observa que los más altos contenidos en sulfatos corresponden a las más altas conductibilidades en los ausoles activos. En seguida vemos que las perforaciones tienen alto valor de sulfato y alta conductibilidad.

En general se observa que a medida que aumentan los sulfatos aumenta la conductibilidad.

Como se ve en el presente estudio, existe una correlación: a mayor sulfato mayor conductibilidad, siendo esto óptimo en cuanto se refiere a perforaciones y ausoles activos, es decir, para aguas con influencia geotermal.

RELACION RESIDUO QUIMICO MENOS SULFATO Y
CONDUCTIBILIDAD.

DISCUSION DE LA GRAFICA # 6.

Como ya comprobé, la conductibilidad depende directamente del contenido en sulfatos. Para examinar si la conductibilidad tiene además alguna dependencia del resto de los elementos, resté al residuo químico los sulfatos y con base en estos datos tracé la gráfica # 6.

Se ve que tanto para aguas subterráneas normales, ríos y aguas con influencia geotermal, existe una correlación: a mayor residuo químico mayor conductibilidad. Siendo en general la curva menos pronunciada que en la relacionada con los sulfatos.

PERFORACIONES

1 PA-I

	Fe- cha	Cl' ppm.	SO ⁴ ppm.	RQ-SO ⁴ ppm.	Conductibilidad 10 ⁴ Ω ⁻¹ xcm ⁻¹
a	9/6	49.63	81.5	420	3.3
b	25/6	28.3	94.6	772	3.3
c	7/7	35.4	103.7	773	4.3
d					
e	10/7	35.4	151.4	404	3.2
f	22/7	49.6	92.6	2498	3.4
g	27/8	21.2	84.3	809	3.7
h	27/8	14.1	96.3	449	3.8
i	27/8	28.3	93.6	381	3.7
j	21/2	21.1	100.1	359	3.8
k					
l	29/8	28.3	111.9	356	4.0
m	1/9	21.2	129.2	380	4.3
n	3/9	14.8	133.5	364	4.3
o	5/9	49.6	122	412	4.1
p					
q	26/9	7.0	131.1	414	4.3

2 PA-2

a	25/6	42.5	42.6		1.0
b	7/7	141.8	2.9	84	1.02
c	17/7	156	15.4	97	1.3
d	27/8	143.2	72	474	7.5
e	6/10	120.5	52.9	741	9.2
f	7/10	21.2	2.7		

3 PA-3

	Fe- cha	Cl' ppm.	SO ₄ ["] ppm.	RQ-SO ₄ ["] ppm.	Conductibilidad 10 ⁴ Ω. 1l _{xcm} ⁻¹
a	9/6	49.6	235.8	747	8
b					
c	25/6	35.4	141.2	446	5
d					
e	9/9	28.3	155.9	756	6.2
f	9/9	35.4	169.1	656	6.3
g	10/9	28.3	149.8	636	5.8
h	10/9	21.3	143.7	56	4.9
i	11/9	21.3	141.6	537	5
j	12/9	35.4	144.4	463	3.7
k	22/9	35.4	137.4	473	3.5

AUSOLES ACTIVOS

6 CERRO BLANCO

a	9/6	49.6	1115.8	1621	34.1
b	8/7	49.6	759.7	1089	28.5
c	25/9	42.5	558.8	1415	18.4

7 SAN CARLOS

a	9/6	56.7	103.9	292	8.9
b	8/7	56.7	135.4	293	3.8
c	25/9	28.3	63.8	220	2.4

8 EL SAUCE

	Fe- cha	Cl' ppm.	SO ⁴ ppm.	RQ-SO ⁴ ppm.	Conductibilidad 10 ⁴ Ω ⁻¹ xcm ⁻¹
a	9/6	56.7	573.2	837	27.8
b	8/7	42.5	365.0	665	13.8
c	25/9	28.3	55.1	478	6.6

9 CUYANAUSOL

a	1/7	70.9	311.1	552	6
b	30/9	21.3	213.7	386	5.5

10 TERMOPILAS

a	30/9	78	974.4	1418	34
---	------	----	-------	------	----

11 AMAYA

a	30/9	21.3	720.5	1057	15.2
---	------	------	-------	------	------

12 LA LABOR

a	7/7	85	293.8	663	6.7
b	23/9	28.3	251.4	473	6

AUSOLES APAGADOS

13 ENRIQUE

14 VICTOR

a	17/7	42.5	1.6	188	0.5
b	29/7	56.7	8.4	359	1

15 RAY

	Fe- cha	Cl' ppm.	SO ⁴ ppm.	RQ-SO ⁴ ppm.	Conductibilidad 10 ⁴ Ω -L _{xcm} ⁻¹
a	17/7	56.7	0.6	117	0.7
b	17/7	49.6	1.4	131	0.6
c	27/8	7.1	7.2	123	1.2
d	23/9	35.4	21.6	96	1

R I O SA G U A C A L I E N T E

16 AGUA SHUCA

a	9/6	42.5	22.6	192	1
---	-----	------	------	-----	---

17 RIO ABAJO AGUA SHUCA

a	17/6	42.5	33.7	171	1.1
---	------	------	------	-----	-----

.... # 18 RIO ARRIBA PLAYON AHUACHAPAN

a	17/6	56.7	33.3	176	1.7
---	------	------	------	-----	-----

19 RIO ABAJO PLAYON AHUACHAPAN

a	17/6	42.5	44.4	192	1.7
---	------	------	------	-----	-----

20 CARRETERA PANAMERICANA

a	17/6	49.6	51.4	144	1.7
---	------	------	------	-----	-----

21 RIO APUNTAN

22 LAGUNA EL LLANO

a	27/6	56.7	5.4	236	0.5
---	------	------	-----	-----	-----

P O Z O S

23 KILOMETRO 81 66 VARAS

24 EL REFUGIO

	Fe- cha	Cl' ppm.	SO ⁴ ppm.	RQ-SO ⁴ ppm.	Conductibilidad 10 ⁴ Ω ⁻¹ _{xcm⁻¹}
a	17/6	42.5	6.8	288	2.7

25 KILOMETRO 87 36 VARAS

26 ATIQUIZAYA

a	17/6	56.7	10.5	199	1.7
---	------	------	------	-----	-----

27 LAS POZAS 71 VARAS

a	24/6	42.5	31	196	1.9
---	------	------	----	-----	-----

LAS POZAS 65 VARAS

a	24/6	42.5	2	246	1.9
---	------	------	---	-----	-----

28 SAN LORENZO

a	24/6	42.5	7.4	337	3.2
---	------	------	-----	-----	-----

29 EL ESPINO 62 VARAS

a	2/7	42.5	17.5	262	1.4
---	-----	------	------	-----	-----

30 EL CHAPUCO 18 VARAS

a	2/7	56.7	10.3	276	2
---	-----	------	------	-----	---

31 EL ROBLE 35 VARAS

a	1/7	106.4	6.8	423	3.1
---	-----	-------	-----	-----	-----

32 LOS NANCES

60 VARAS

	Fe- cha	Cl. ¹ ppm.	SO ⁴ ppm.	RQ-SO ⁴ ppm.	Conductibilidad 10 ⁴ Ω ⁻¹ xcm ⁻¹
a	1/7	63.8	3.3	242	1.8

LOS NANCES

24 VARAS

a	1/7	56.7	4.3	320	2.3
---	-----	------	-----	-----	-----

33 LOMA DE ALARCON

a	24/6	42.5	5.3	331	1.9
---	------	------	-----	-----	-----

34 KILOMETRO 78

a	10/7	56.7	24	289	1.9
---	------	------	----	-----	-----

F U E N T E S

35 SAN CARLOS

a	8/7	56.5	12.9	187	1.2
b	25/9	42.5	10.7	159	1.4

36 EL ZAPOTE

a	9/6	63.8	40.9	356	2.8
b	8/7	56.7	46.3	363	2.5
c	19/9	35.4	36.6	297	2.6

37 EL CUARTEL

a	9/6	56.7	7.2	230	1.8
b	19/9	56.7	6.6	205	1.2

38 LA COYOTERA

39 ZUNCA

40 EL TRAPICHE

a	17/6	49.6	14.8	222	2.4
---	------	------	------	-----	-----

RESULTADOS DE MUESTRAS DE SUELOS

Se determinó conductibilidad en 8 muestras de suelos.

Para esto puse en maceración los suelos en soluciones de diversos ácidos y agua destilada buscando encontrar la solución mejor para esta determinación.

Técnica

Preparar soluciones al 1/2 por mil de ácidos: clorhídrico, sulfúrico y acético.

1) Pesar 20 Grms. de suelo secado a 105°C durante 2 horas.

2) Poner en un beaker con 200 ml. de solución al 1/2 por mil de HCl, dejar 24 horas en maceración.

Proceder de la misma manera poniendo en maceración, con sulfúrico, acético y agua destilada 24 horas.

Filtrar y llevar el líquido filtrado al refrigerador para que la temperatura baje a temperatura inferior a 18°C .

Sacar y efectuar la lectura a 18°C .

TABLA # 4 ($10^4 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$)

Muestra	H_2SO_4	HCl	CH_3COOH	H_2O Destilada
1	21.6	4.	2.7	0.21
2	52.6	35.9	30.	33.
3	30.4	6.	1.8	1.
4	42.	14.	4.1	-
5	47.2	21.4	10.6	9.6
6	45.6	21.3	9.9	1.3
7	34.2	13.8	13.	1.3
8	18.4	7.6	13.7	0.39
Sol.1/2%	45.9	18.1	1.	0.046

Con la tabla #4 se trazó la gráfica #7.

Tomando el ácido sulfúrico como disolvente para los suelos sucede que a veces la conductibilidad resultante es mayor que la conductibilidad de la solución pura mientras que en otros casos la conductibilidad resulta menos.

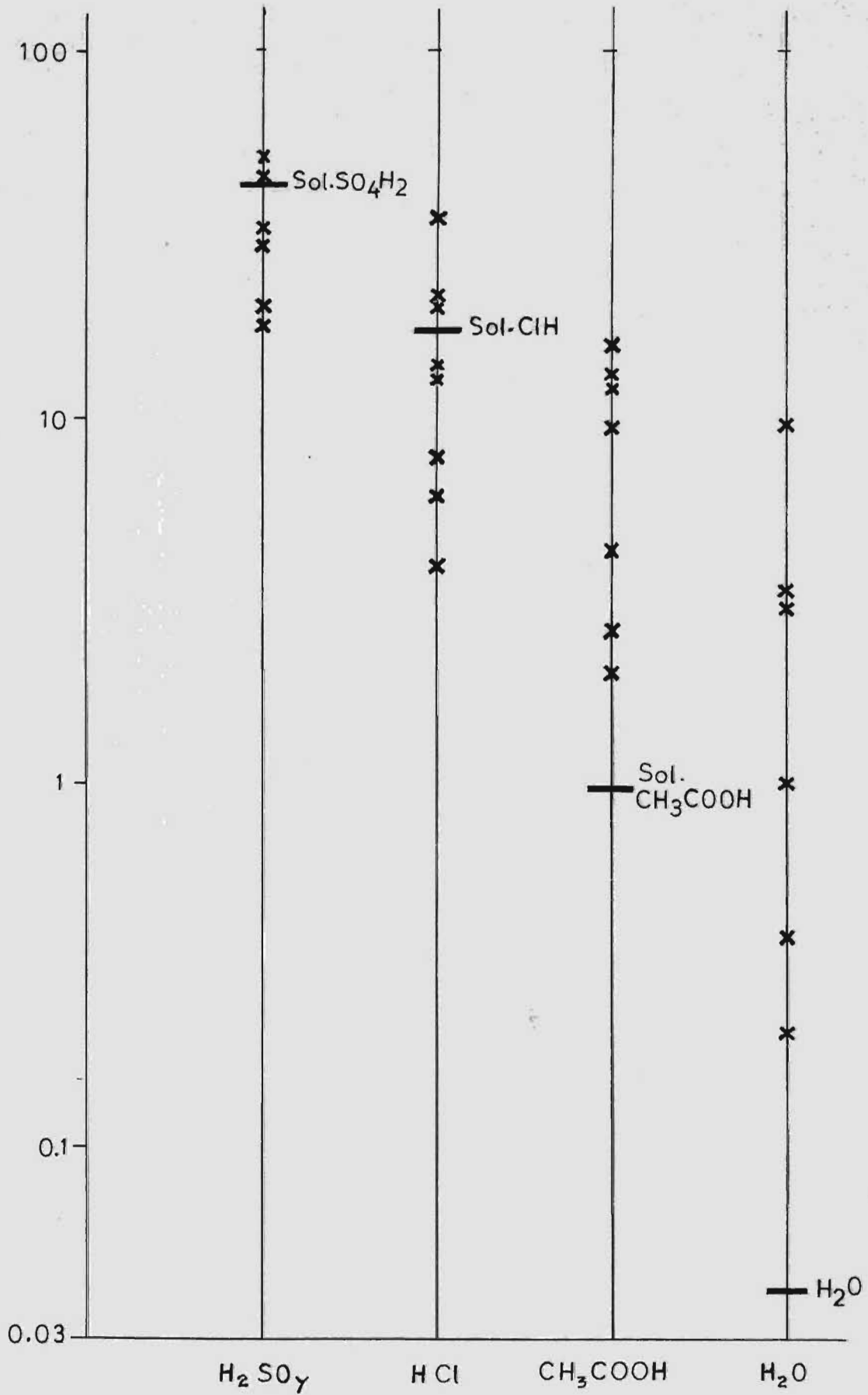
Lo mismo pasa con el ácido clorhídrico.

En las maceraciones con acético y agua destilada los valores van en aumento a partir de la lectura de conductibilidad dada para la solución y el agua pura.

Lo sucedido con el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico se debe probablemente a la formación de sales insolubles.

De lo anterior puede deducirse que el ácido acético será el de recomendar para disolver los componentes en un suelo. Para examinar la influencia de la temperatura y de la concentración tracé la gráfica # 5, y resulta que la menor variación ocurre con una concentración de 1% a la temperatura de 18°C.

$C \text{ nd.} \times 10^4 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$



CONCLUSIONES

Con base en los resultados del presente trabajo puedo sacar las conclusiones siguientes:

1) Las aguas de origen geotermal; ausoles activos y perforaciones, han presentado los más altos valores de conductibilidad.

Se sabe asimismo que aguas con influencia geotermal tienen los más altos contenidos en residuo químico y sulfato, lo anterior demuestra que existe una correlación entre sulfato y residuo químico y la conductibilidad.

Las gráficas # 5 y # 6 demuestran para las aguas en general una correlación: a mayor Residuo Químico y sulfato, mayor conductibilidad. Siendo las gráficas demostrativas de una curva mejor en ambos casos en cuanto se refiere a aguas con influencia geotermal,

Por consiguiente, para la zona de Ahuachapán puedo recomendar:

I.- Usar la determinación de la conductibilidad para distinguir las aguas con influencia geotermal de aguas de ríos y de origen subterráneo normal.

En el presente trabajo se obtuvieron los siguientes valores límites de la conductibilidad de aguas con influencia geotermal.

	Conductibilidad $10^4 \text{ } \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$	
	<u>Máximo</u>	<u>Mínimo</u>
Ausoles Activos	34.1	2.4
Perforaciones	9.2	1.0

II.- Se trató de relacionar la conductibilidad con los cloruros pero la gráfica # 4 trazada con este objeto no dió ninguna correlación.

III.- Recomiendo como método a seguir para la medida de la conductibilidad el que he usado en el presente trabajo, ya que al describirlo se ve su rapidez y sencillez, (Una determinación lleva como máximo 30 minutos) en comparación con análisis químicos cuantitativos (requieren varios días).

La temperatura óptima recomendable 18°C .

IV.- En cuanto a análisis de suelos se ve que aún cuando en soluciones puras (gráfica # 7) es el Acido sulfúrico el que se recomendaría, al hacer las extracciones de suelos los valores se presentan confusos por formación de sales insolubles. Siendo para la maceración el ácido acético el que da valores más claros pero tiene el inconveniente de sus grandes variaciones de resistencia al menor cambio de temperatura (Ver gráfica # 3)

Por lo cual, en vista de estos resultados es de recomendar preferentemente el uso de Agua Destilada en la extracción de muestras de suelos que serán utilizadas para medir la conductibilidad.

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

- Valiente, Noemí Aspectos Químicos de Manifestaciones Geotermales de la Región de Ahuachapán, El Salvador. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Químicas. San Salvador, mayo de 1959.
- Giva, Michele Dizionario Di Chimica Generale e Industriale. 1959.
- Remington Farmacia Práctica. 1953.
- Sears, Francis W. y Zemansky, Mark W. Física. Versión española de Albino Yusta Almarza. 1955.
- Villa Vecchia, G. Vittorio Tratado Chimical Analitica.. Applicata Terza Edizione aggiognata ed aumentata. Primer y Segundo Tomo. 1953.
- Watson, W. Curso de Física. Tercera Edición ampliada por Herbert Moss. 1950.
-