

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE EL SALVADOR

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

===

"ANALISIS DE GASES DEL  
CAMPO FUMAROLICO DE AHUACHAPAN"

TESIS

presentada por

STELLA MONTERROSA MAGAÑA

EN EL ACTO PUBLICO DE SU DOCTORAMIENTO

Octubre, 1959



San Salvador

El Salvador

Centro América

J44.4  
M778a  
1959  
F.0000  
S.2.

068559

UES BIBLIOTECA CENTRAL



INVENTARIO: 10123119

U N I V E R S I D A D   D E   E L   S A L V A D O R

Dr. NAPOLEON RODRIGUEZ RUIZ  
Rector

Dr. ROBERTO EMILIO CUELLAR MILLA  
Secretario

---

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

Dr. FRANCISCO GONZALEZ SUVILLAGA  
Decano

Dr. ROBERTO A. MACHADO  
Secretario

Nosotros los abajo firmados, Presidente, Vocal y Secretario que integran el Tribunal de Examen para el Primer Examen General Privado de Doctoramiento de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. En cumplimiento del Acto que antecede admitiendo a STELLA MONTERROSA MAGAÑA a las pruebas correspondientes al Primer Examen Privado de Doctoramiento en la expresada Facultad, nos hemos reunido hoy en el local de la Escuela de Ciencias Químicas y Farmacia para practicar dicho examen, y si habiendo contestado satisfactoriamente el sustentante las preguntas que le hemos hecho y resueltos los argumentos que le fueron propuestos, lo hemos calificado con la Nota Aprobada por UNANIMIDAD de votos.

En fé de lo cual firmamos la presente en Salvador, a los diez dias del mes de Diciembre de mil novecientos cincuenta y seis.

Dr. Manuel Salinas Ariz  
Presidente

Dr. Raúl Montoya P.  
Secretario

Dr. Pedro Antonio Angel  
Vocal

Nosotros los abajo firmados, Presidente, Vocal y Secretario que integran el Tribunal de Examen para el Segundo Examen General Privado de Doctoramiento de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. En cumplimiento del Acto que antecede admitiendo a STELLA MONTERROSA MAGAÑA a las pruebas correspondientes al Segundo Examen Privado de Doctoramiento en la expresada Facultad, nos hemos reunido hoy en el local de la Escuela de Ciencias Químicas y Farmacia para practicar dicho examen, y sí habiendo contestado satisfactoriamente el sustentante las preguntas que le hemos hecho y resueltos los argumentos que le fueron propuestos, - lo hemos calificado con la Nota Aprobada por UNANIMIDAD de votos,

En fé de lo cual firmamos la presente en San Salvador, a los siete dias del mes de Enero de mil novecientos cincuenta y siete.

Dr. Francisco Hernández Roque  
Presidente

Dr. José M. Tejada  
Secretario

Dr. Julio C. Morán Ramírez  
Vocal

Los suscritos, Presidente y Vocales del Tribunal de -  
Doctoramiento Público, nos hemos reunido en el Decanato -  
de la Facultad de Ciencias Químicas a fin de dictaminar -  
sobre la Tesis presentada por la Bachiller STELLA MONTE-  
RROSA MAGAÑA, intitulada "ANALISIS DE GASES DEL CAMPO FU-  
MAROLICO DE AHUACHAPAN". Y encontrando que dicha Tesis SI  
reune los requisitos exigidos por el Estatuto Orgánico de  
la Universidad, la aprobamos por UNANIMIDAD de votos.

En fé de lo cual firmamos la presente Acta en San Salva -  
dor, a los seis dias del mes de Octubre de mil novecientos  
cincuenta y nueve.

Dr. Fritz Dürr  
Presidente

Dr. Rafael Arauz R.  
Vocal

Dr. Rudolf Schulz  
Vocal

DEDICATORIA

A mis padres:

Rudesindo Monterrosa  
María L.Magaña de Monterrosa

A mi esposo :

Abraham Marín Guandique

A mis hermanos :

Raúl, Noemy, Yolanda, Miriam y  
Tulio.

A mi abuelita :

Teodosia v. de Monterrosa

A mis suegros :

Francisco Marín Villegas  
Josefina Guandique de Marín

A mis Maestros

A mis familiares, compañeros y amigos.

Agradezco al Dr. Fritz Dürr, Director del SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL, la valiosa ayuda que desinteresadamente me brindó para llevar a cabo este trabajo.

Y al Dr. Francisco González Suvillaga, Decano de la Facultad de Ciencias Químicas, por haberme proporcionado los Reactivos y Materiales del Laboratorio de la Facultad necesarios para el desarrollo práctico de esta Tesis.

I N D I C E .-

Introducción.

Definición de Fumarolas y su origen.

Historia del aprovechamiento de la energía geotérmica:

a) en general

b) en El Salvador

Importancia del Análisis de Gases para tal aprovechamiento.

Generalidades acerca del Análisis de gases.

Métodos empleados en el presente estudio :

a) toma de muestras

b) análisis químico

Resultado de los análisis verificados en otras regiones del mundo.

Resultado de los análisis verificados en El Salvador.

Conclusiones.

Resumen.

Bibliografía.

INTRODUCCION.-

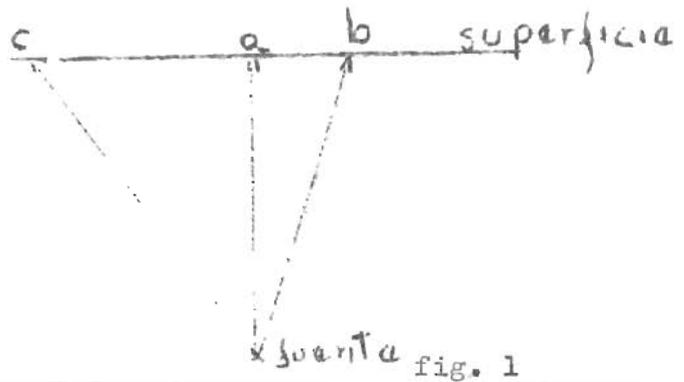
El objeto del presente estudio es conocer la composición de las emanaciones gaseosas del campo fumarólico de Ahuachapán para determinar los elementos que puedan ser utilizados en un levantamiento gasométrico que permita determinar las líneas tectónicas a través de las cuales los gases provenientes del interior de la tierra se desplazan hacia el exterior.

Por medio de los métodos geológicos tradicionales es muy difícil reconocer en la región de Ahuachapán las líneas tectónicas, tanto respecto a su rumbo como a su buzamiento, por el hecho de encontrarse cubierto de rocas jóvenes.

Un método prometedor para poder descubrir tales líneas tectónicas puede ser un levantamiento gasométrico, que se basa en lo siguiente: (DURR, 1958)

Fallas tectónicas son zonas de debilidad en la corteza terrestre, por lo que, bajo ciertas condiciones permiten a los gases del interior de la tierra ascender hacia la superficie. El aire en el suelo encima de tales fallas estará contaminado por estos gases, por lo que, análisis químicos del aire del suelo podrán revelar la existencia de tales fallas.

Según se sabe, bajo condiciones normales el gas correrá según el descenso de presión, por lo que valores máximos de gas serán encontrados verticalmente encima de la fuente de gas, disminuyendo estos valores con la distancia a la fuente. Así, en la figura 1, una muestra de gas recolectada en a) variará en su composición y proporciones a otras tomadas en b) y c).



Análisis químicos de emanaciones volcánicas en varios países del mundo revelan que los gases más comunes presentes en ellas son:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{SH}_2$ . De éstos, el  $\text{CO}$  y el  $\text{SH}_2$ , por su falta en el aire atmosférico, son los que mejor se prestan para verificar un levantamiento gasométrico.

Otros gases presentes en las emanaciones volcánicas, tales como  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ , gases raros, etc. se encuentran en tan pequeñas cantidades que no se prestan para tales propósitos..-

DEFINICION DE FUMAROLAS .- Las fumarolas, de fumus : humo, consisten en la emisión de vapor de agua, anhídrido carbónico, y otros gases a temperaturas variables. Es indudable su estrecha relación con los fenómenos volcánicos y generalmente se presentan en los flancos de los volcanes o en sus cercanías; a veces, en lugares en los que no hay ninguna actividad volcánica aparente; en tal caso, se ha comprobado que son el último resabio de una actividad volcánica ahí existente en pasadas épocas; tal es el caso de las que en mi presente estudio agrupo en la zona Norte.

Las fumarolas en nuestro medio se conocen con el nombre de "ausoles", voz derivada del Chorotega; anzél, fuente termal. También se conocen con el nombre de "infiernillos" y en el Oriente de la República se habla de "hervederos"

y " borbollones ".

Siendo de interés científico el conocer la composición de los gases y vapores emanados del interior de la tierra y dada la dificultad de recolectarlos del cráter mismo de los volcanes, la atención se ha fijado en las fumarolas. Son famosas las investigaciones de C. SAINTE-CLAIRE DEVILLE, F. FOUQUE y F. LEBLANC sobre las fumarolas del Vesubio y del Etna (RANKAMA, 1954).

Considerando dichas investigaciones y algunas observaciones de otros autores, podemos hacer la siguiente clasificación de las fumarolas :

- SECAS : las fumarolas más calientes llegan casi a la temperatura del rojo; se creyó que eran anhidas, pero, en realidad, contienen vapor de agua en mayor o menor cantidad. Se desprenden de conos adventicios esparcidos en los flancos de los volcanes, en forma de humos blancos y depositando sublimados :  $ClK, ClNa, ClK.Cl_2Mg$ , Gases ; cloruros, vapor de agua,  $CO_2, N_2$ .
- ACIDAS : Temperatura:  $100-500^{\circ}C$ . Contienen abundantemente vapor de agua,  $CO_2$  y  $SO_2$ . Los sublimados son cloruros metálicos de Fe y Cu.
- ALCALINAS: también llamadas SOLFATARAS. Temperatura:  $40-100^{\circ}C$ . Contienen vapor de agua,  $SH_2$  (que se descompone dando depósitos de S y sulfatos), cloruro de amonio asociado al carbonato de amonio.
- MOFETAS : fumarolas a temperatura ordinaria. Emiten  $CO_2, N, H$ , carburos de H (que le comunican olor a moho, a lo que alude su nombre).

También tenemos las llamadas fumarolas secundarias las cuales no tienen origen profundo; emanan de las brechas volcánicas poco después de la formación de éstas y durante su enfriamiento, acelerado por la intervención de las aguas lluvias.

Esta clasificación tiene solamente interés teórico pues en la práctica resulta inaplicable, ya que es imposible determinar exactamente un límite entre unas y otras; además, algunas fumarolas, como las de Islandia, no pertenecen a ninguno de estos tipos.

Según opinión del DR. DURR (comunicación verbal), en nuestro medio bastaría distinguir entre fumarolas y fuentes termales:

FUMAROLAS : emisión de diversos gases, especialmente vapor de agua,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{CO}$  a temperatura elevada. Si hay predominancia de sulfatos reciben el nombre de SOLFATARAS.

FUENTES TERMALES : aguas con temperatura más elevada que la temperatura media del agua subterránea de la región, o sea, más de  $30^\circ\text{C}$  en nuestro medio.

Los cambios presentados en la composición de las emanaciones volcánicas proceden algunas veces del magma; también pueden proceder de rocas adyacentes las que bajo la acción de los gases ascendentes modifican su composición, ya precipitando algunos de sus componentes, ya cediendo algunos compuestos volátiles.

Se ha determinado también que la composición de las emanaciones varía según el tiempo transcurrido desde el comienzo de la actividad volcánica y también según la distancia al centro de actividad, como lo demostraron C.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE y F. LEBLANC al estudiar en 1858, los gases de varios volcanes y fumarolas italianas (CLARK, 1908).

Otra causa muy influyente es la temperatura y ésta a su vez puede ser modificada por su paso a través de rocas mucho más frías. F. FOUQUE, en 1865, estudiando las fumarolas del Vulcano, obtuvo los resultados que se dan en la siguiente tabla, en la que se puede apreciar cómo varía la composición con la temperatura (CLARK, 1908).

	350°C	250°C	150°C
HCl-SO <sub>2</sub> %	78.80	66.00	27.19
CO <sub>2</sub> %	23.40	22.00	59.62
O <sub>2</sub> %	.52	2.40	2.20
N <sub>2</sub> %	2.28	9.60	10.99

Además, componentes de la atmósfera pueden ser también incorporados.

A elevada temperatura los gases que se desprenden están compuestos en gran parte de vapor de agua sobrecalentado, H libre, CO, CH<sub>4</sub>, vapores de cloruros metálicos y fluoruros gaseosos. El vapor de agua reacciona con los cloruros produciendo HCl. Los vapores ácidos atacan las rocas adyacentes liberando SH<sub>2</sub> de los sulfuros y CO<sub>2</sub> de los carbonatos.

En consecuencia, a una temperatura más baja, las emanaciones están constituidas por vapor de agua, CO<sub>2</sub> y gases indiferentes como N, llegando en último grado a desaparecer el CO<sub>2</sub> quedando únicamente vapor de agua.

Las fumarolas pueden, en ciertos casos, pasar a geysers o manantiales calientes, aunque en general, el origen de éstos es otro; agua subterránea calentada por su paso a través de rocas plegadas y que ascendiendo rápidamente sale todavía caliente. Son famosas en el mundo algunas regiones por sus geysers, tales como Yellowstone Park en E.E.U.U., Islandia, etc.

Los gases volcánicos al salir a la superficie se incorporan a la atmósfera, o bien, se disuelven en el agua y forman sublimados alrededor de los cráteres y fumarolas (principalmente cloruros de sodio, de potasio, amonio, hierro, carbonatos y sulfatos alcalinos). Los gases que emanan del fondo del oceano se disuelven en el agua del mar.

ORIGEN DE LAS FUMAROLAS.-

Como ya se ha visto, el constituyente principal de las emanaciones fumarólicas es el vapor de agua. Una pregunta viene entonces a la mente : De dónde procede dicho vapor?

Varias teorías se han propuesto para explicar su procedencia, pudiendo resumirse en los tres casos siguientes;

1.- Se supone, según consideraciones teóricas y estudios realizados respecto a la cristalización de rocas, que el magma contiene, más o menos, el 5 % de su peso de agua.

Al enfriarse el magma y cristalizar sus minerales constituyentes, liberarían agua, la cual iría acumulándose progresivamente. Debido a la alta temperatura ahí existente el agua se encontraría al estado de vapor y sometida a una enorme presión. Este vepor tiende a buscar sitios de menor presión, lo que hace a través de grietas o de rocas porosas, llegando así, finalmente, a la superficie originando fumarolas. En este caso, el vapor que sale a la superficie es directamente de origen magmático. Las aguas y vapores de tal origen reciben la denominación de "juveniles".



fig. 2

2.- Se sabe que el gradiente geotermal es, por término medio, de 30 metros, o sea, que hay que descender unos 30 m. para aumentar la temperatura en un grado Centígrado. Pero hay regiones en las que solamente basta un descenso de unos 10 m. para obtener ese mismo aumento en la temperatura: ésto es debido a la existencia, en el subsuelo, de intrusiones magmáticas, Ahora bien, aguas superficiales infiltradas en estas regiones de gradiente geotermal elevado se calentarán y pasarán al estado de vapor para luego salir a la superficie originando fumarolas. En este caso el agua y el vapor serán de origen superficial y no magmático. Tales aguas y vapor se llaman "vadosos".

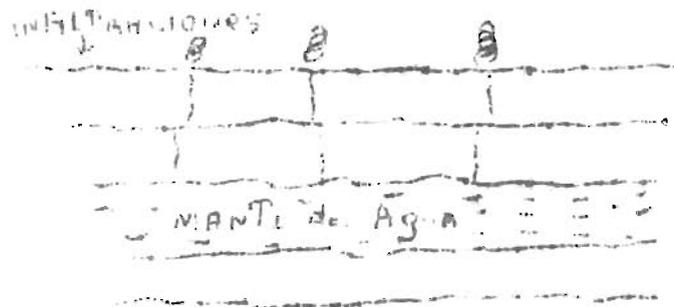


fig.3

3.- En tercer lugar tenemos las aguas superficiales infiltradas que son calentadas por los vapores magmáticos formados según el caso 1, y luego salen, ya calientes y mezclados con los vapores magmáticos a la superficie, originando también fumarolas. Tales aguas y vapor, en nuestro medio, reciben el nombre de "compuestos" (comunicación verbal, DURR).

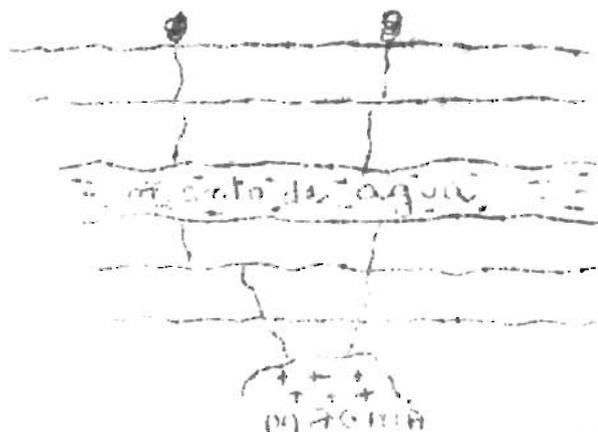


fig. 4

DISTRIBUCION DE FUMAROLAS EN EL SALVADOR.

Geológicamente hablando, El Salvador es un país muy joven, como lo demuestra su actividad sísmica. La corteza terrestre no está aún estabilizada en esta parte del mundo y continuos movimientos tectónicos cambian la superficie y el subsuelo del país, provocando rupturas a través de los estratos de rocas. Y es a través de estas rupturas que el magma del interior encuentra un camino para salir a la superficie, originando así los volcanes.

Los volcanes de El Salvador se encuentran encima de estas rupturas formando la Cadena Volcánica Principal, y las fuentes termales y fumarolas más importantes se alinean a lo largo de esta Cadena, manifestando así su estrecha relación con el volcanismo.

Para un mejor ordenamiento, agrupo las fumarolas de acuerdo con la geomorfología del país, en el cual se distinguen de Sur a Norte las siguientes zonas (DURR, 1957) :

PLANICIE COSTERA : comprende la parte sur de los departamentos de Ahuachapán, Sonsonate, La Paz, San Vicente y Usulután.

MONTAÑA COSTERA : comprende la Cordillera del Bálsamo y las Colinas de Jucuarán.

FOSA CENTRAL : comprende toda la zona desde el Río Paz al Goascorán, que se encuentra entre la Montaña Costera y la Montaña Interior. En esta zona está comprendida la cadena joven de volcanes (V. Santa Ana, Izalco, Boquerón, San Vicente, etc.), y, por consiguiente, las fumarolas y fuentes termales más importantes.

MONTAÑA INTERIOR : comprende, las montañas entre la Fosa Central y el Valle Interior (colinas al NE de Santa Ana, y al E de Guazapa y N de la Carretera Panamericana, desde Cojutepeque hasta La Unión).

VALLE INTERIOR : comprende, sobre todo, la lla

nura del río Lempa a lo largo de su curso EW. En esta zona existen fuentes termales, rara vez fumarolas.

MONTAÑA FRONTERA : comprende las montañas altas que lindan con Honduras, de Metapán a La Palma (Chalatenango) y al N del río Torola.

Con base en estos datos podemos hacer la siguiente clasificación de las manifestaciones fumarólicas más conocidas de El Salvador:

A) ZONA NORTE : comprendiendo la Montaña Frontera y el Valle Interior. La existencia de manifestaciones fumarólicas en esta parte del país es indicio de que en pasadas épocas existió ahí un volcanismo activo. Esta zona comprende :

a) Los Ausoles de Santa Rosa de Lima (en realidad, se trata de fuentes termales) :

- 1.- EL HERVEDERO, 3 Km. al N de la ciudad. Comprende emanaciones vaporíferas y aguas termales. T : 89-97°C.
- 2.- AGUA CALIENTE, 4 Km. al W de la ciudad, con temperatura de 80°C aprox.
- 3.- POZOS TIBIOS, fuentes termales al S de la ciudad, con temperatura de 37°C.
- 4.- PASAQUINITA, 4 Km. al SE de la ciudad, también fuente termal.
- 5.- Más o menos 1 legua al W del río Goascorán se encuentran dos fuentes y manantiales de agua caliente que desprenden columnas de humo.

b) Los Ausoles a inmediaciones de San Francisco Gotera :

- 6.- EL SALTO, fuente caliente en las márgenes del riachuelo San Juan.
- 7.- AGUA CALIENTE, fuente termal en el Municipio de Chilanga.

c) Los Ausoles del área del río Torola. En este grupo solamente los Hervederos de Carolina merecen el nombre de fumarolas.

8.- LOS HERVEDEROS DE CAROLINA, 2 Km. al NNW del pueblo de Carolina (Depto. de San Miguel) en el valle del río Torola; uno de ellos lanza un chorro de vapor de unos 5 m. de altura. T; 98-100°C.

9.- Las fuentes termales del río ARAUTE, 2 Km. al NW del pueblo de El Rosario, Depto. de Morazán. T : 50- 59°C.

10.- AGUA CALIENTE, fuente termal en San Isidro Morazán.

11.- POZO DE LOS ALVAREZ, pozo de aguas termales cerca de Ciudad Barrios, Depto. S. Miguel.

d) Los Ausoles cerca de la Chorrera del Guayabo :

12.- AGUA CALIENTE, en la Hda. San Antonio, a inmediaciones del río Lempa, en Cabañas, con temperatura cercana al punto de ebullición del agua y conteniendo SH<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

13.- Un grupo de ausoles y fuentes termales cerca de El Nombre de Jesús, Chalatenango.

14.- HOYOS CALIENTES, profundos agujeros naturales en San José Las Flores.

15.- EL UJUSHTE, fuente termal a 1.5 Km. al E de San Antonio La Cruz, Chalatenango.

16.- LOS HERVIDEROS, fuentes calientes 4 Km. al N de S. José Las Flores, en el río Yusique (Chalatenango).

e) Los Ausoles de Suchitoto :

17.- EL PLATANAR, fuente de aguas tibias en

Suchitoto, Depto. de Cuzcatlán.

18.- MANANTIAL DEL TABLON DE SANTA LUCIA,  
fuente termal 8 Km. al NW de Suchitoto.

f).-Los Ausoles de El Paraíso :

19.- Fuentes termales en el lecho del río A-  
sambio, en el lugar donde lo cruza la  
Carretera Troncal nueva.

20.- Las fuentes termales de El Paraíso, al  
rededor del pueblo del mismo nombre, en  
Chalatenango. T :58°C.

g) Los Ausoles de El Obrajuelo :

21.- LOS HERVEDEROS DE EL OBRAJUELO, cerca  
del pueblo Aguas Calientes (Chalatenan-  
go), con Temp. de 70-80 °C.

22.- EL JUTE, junto a El Obrajuelo.

B) Los Ausoles de la CADENA VOLCANICA PRINCIPAL (Fosa Central) :

I.- RESPIRADEROS PLAYITAS, en la costa del  
golfo de Fonseca, cerca de P.Chiquirín.

II.- EL PITAL, pequeña fuente termal en El  
Carmen, La Unión.

III.- EL BORBOLLON, en una isla de la Laguna  
de Olomega.

IV.- LAGUNA AGUA CALIENTE, frente al pie N  
de las Colinas de Jucuarán, en el lin-  
dero entre las jurisdicciones de Chiri-  
lagua y Jucuarán.

V.- LA CUEVA, baños tibios y fuentes ca-  
lientes, 4 Km. al S de la ciudad de S.  
Miguel.

VI.- EL BORBOLLON o HERVIDERO, 300 m. al S  
de San Miguel.

- VII.- EL CAPULIN, riachuelo de aguas termales y sulfurosas, en jurisdicción de Moncagua. (Depto. S. Miguel)
- VIII.- Respiraderos de vapores azufrados en el cráter del V. de San Miguel.
- IX.- LOS PEROLITOS, fumarolas en la falda SSE del V. de San Miguel.
- X.- CHAMBALITA, ausol en la Hda. La Joya, jurisdicción de San Jorge.
- XI.- LOS AUSOLES DE CHINAMECA :
- a) EL VOLCANCITO, 1.2 Km. al W de la ciudad. Comprende dos respiraderos principales : El Hervedor, ahora llamado La Viejona, y El Boquerón. La actividad de estos ausoles ha disminuido en la actualidad.
- b) LOS INFIERNILLOS, 2.5 Km. al ESE de la ciudad; son más fuertes que los de El Volcancito, acusando temperaturas de 99 a 99.5°C. No hay olor ni incrustaciones de S. La fuente principal arroja un chorro de vapor casi seco a unos 3-5 m. de altura; en la actualidad está algo soterrada por efecto de la quebrada que por ahí baja.
- XII.- Fuentes termales en la falda del V. de Jucuapa, frente a la ciudad del mismo nombre.
- XIII.- Los Ausoles del V. TECAPA :
- a) EL TRONADOR, fumarola bastante fuerte que arroja vapor casi seco a gran presión, con Temp. de 105-107°C. Según parece este vapor contiene HCl. Ha conservado su actividad durante muchos años.
- b) LAGUNA DE ALEGRIA, en el cráter del V. Tecapa, con exhalaciones de gases sulfurosos. Hay abundantes incrustaciones de S cristalino.

- XIV.- AGUA CALIENTE, de San Marcos, con temperatura superior a  $50^{\circ}\text{C}$ . Contiene  $\text{SH}_2\text{S}$  y  $\text{SO}_4\text{Ca}$ .
- XV.- En el cantón El Nombre de Dios, a  $1/4$  milla del río Lempa se encuentran unas fuentes con temperaturas calculadas de  $75^{\circ}\text{C}$  y con olor a  $\text{SH}_2$ .
- XVI.- EL OBRAJUELO, a 5 leguas de San Viente pozos de agua hirviendo azufrada.
- XVII.- LOS INFIERNILLOS DE SAN VICENTE, en la falda del volcán del mismo nombre. T;  $97-99^{\circ}\text{C}$ . Su actividad es casi igual a la de los de Ahuachapán.
- XVIII.-EL AUSOL, fuente termal en las márgenes del río Tilapa, en San Pedro Masahuat.
- XIX.- Fuentes termales en la orilla SW del lago de Coatepeque.
- XX.- LOS AUSOLES DE AHUACHAPAN :
- 1.- Grupo Oriental:
    - a) Cuyunausul
    - b) Termópilas
    - c) Amaya
    - d) La Labor
    - e) Playón del Salitre
  - 2.- Grupo Occidental :
    - f) Cerro Blanco
    - g) San Carlos
    - h) El Sauce
    - i) San José
    - j) Agua Shuca
    - k) El Playón de Ahuachapán
- XXI.- Una fuente caliente en las márgenes del río Paz.-

NOTA.- Los números corresponden a los del mapa adjunto.

Para mayor información acerca de las fuma--

rolas y fuentes termales de El Salvador con -  
sultar : "Los Ausoles de El Salvador, con un  
Sumario Geológico Tectónico de la Zona Volcá-  
nica Occidental", de MEYER-ABICH, (Comunicacio-  
nes del I.T.I.C., Mayo 1953) y "Las Fumarolas  
y Fuentes Termales en las Montañas Volcánicas  
de Mayor Edad en El Salvador", de GREBE (Ana-  
les del S.G.N., #2, 1956)

BREVE MONOGRAFIA DE LOS  
AUSOLES DE AHUACHAPAN.-

En la región del pie N de la Cadena Vol-  
cánica Occidental y al oriente de la ciudad  
de Ahuachapán, se encuentran los ausoles, cu-  
yas primeras referencias nos llegan de GARCIA  
DE PALACIO (1576); FRAY ANTONIO DE CIUDAD REAL  
acompañante del padre FRAY ALONSO PONCE (1586)  
y TOMAS GAGE( 1633 ).

PLAYON DE AHUACHAPAN.- Comprende un área  
de 200 x 50 m.; atravesada por un riachuelo  
(Agua Caliente) en el cantón Santa Rosa. El te-  
rreno es caliente, caolinizado, con incrusta-  
ciones sulfurosas y multicolores, descubier-  
to de vegetación. Tiene una emanación de vapor  
en la margen izquierda del rio y otras muchas  
emanaciones pequeñas, algunas dentro del rio.  
El olor de los gases se siente desde lejos.  
Temperaturas observadas aquí fueron de 97 -  
98- 99°C. Unos 200 m. aguas abajo, a la iz-  
quierda, existe otra emanación de vapor im-  
portante. Hay una región subsidiaria 100 m.  
al oriente, separada de la anterior por terre-  
nos cultivados.

Este es el centro fumarólico más conocido  
y visitado hoy día y es también el que ofre-  
ce mejores perspectivas para el desarrollo de  
energía, aparte de que reúne condiciones de  
cercanía al centro urbano y fácil acceso.

AGUA SHUCA.- Estos fueron los ausoles más visitados en el pasado. Su potencia ha disminuido debido, probablemente, a la progresiva descomposición de las rocas, resultando de ello arcillas que infiltrándose han tapado los caminos de salida del vapor.

Este sitio está situado sobre el mismo río que el Playón de Ahuachapán, 1 Km. arriba. Se compone de tres grupos de ausoles vecinos; al lado S existen volcancitos y pozos de lodo hirviendo, uno de ellos de 4 m de diámetro; esta área comprende unos 50 x 40 m. El segundo grupo se encuentra a unos 300 m al S del primero, a unos 860 m de altura. Este grupo es más extenso. Aquí hay un cráter o lago de lodo de unos 6 m de diámetro; en sus alrededores hay otras exhalaciones débiles de gases que apenas se notan. El tercer grupo consta de dos fumarolas más caudalosas, situadas a unos 300<sup>m</sup> al oriente del segundo grupo, en medio de unos cafetales.

En esta región se iniciaron los trabajos de perforación, habiendo abierto dos pozos: AS II y AS III; el AS II despiden principalmente agua caliente, el AS III despiden vapor húmedo.

EL SAUCE.- Situado 2 Km. al oriente de Agua Shuca, cubre un área de unos 50 x 100 m. Hay tierra caliente con pequeñas emanaciones de vapor seco y algunos agujeros donde hierve lodo a 86°C; de uno de ellos sale vapor de agua a 97°C. Hay muchos depósitos de S.

SAN JOSE.- A inmediaciones de El Sauce. Se extiende en una zona de unos 20 x 100 m de largo, consiste en respiraderos de vapor de agua a 50°C.

Esta región (El Sauce y Sn. José) no parece apropiada para el desarrollo de energía por

ser algo remota, de difícil acceso y el terreno es muy accidentado.

SAN CARLOS.- 700 m al ENE de los anteriores, en la finca del mismo nombre. Existen aquí manantiales de aguas claras a  $97^{\circ}\text{C}$  y uno o 2 hoyos donde hierve lodo. Hay además algunas fuentes de vapor regulares y otras menores mezcladas con  $\text{SH}_2$ .

CERRO BLANCO.- Situado en la finca de Las Canarias. Es un profundo cráter de explosión situado en la depresión entre el volcán Laguna Verde y La Lagunita. Consiste en exhalaciones de gases, especialmente  $\text{SH}_2$ , a temperatura de  $93^{\circ}\text{C}$ . No hay fuentes termales ni lodo hirviendo.

LA LABOR.- Situado en la Hda. de su mismo nombre. Comprende una zona de 100 x 50 m, de terreno desnudo, rocoso y muy coloreado, atravesado por un río cuyas aguas son calentadas por el vapor que penetra en su lecho. Hay emanaciones bulliciosas de vapor seco.

PLAYON DE SALITRE.- Al lado N de la Carretera Panamericana. Es un área de fuentes termales; no hay señales de actividad solfatárica ni fumarólica.

CUYANAUSUL.- Se puede hacer dos grupos de ellos; a) los del Barranco Presa de Atiqizaya que son dos, Las Termópilas y el de Amaya, ambos de carácter solfatárico y b) los de Cuyanausul propiamente dichos, que son fumarolas de vapor agua caudalosas, con temperaturas de más de  $100^{\circ}\text{C}$ , provenientes, posiblemente, de grietas vaporíferas primarias. Han conservado su actividad casi por 100 años. Debido a su difícil acceso, por de pronto no son de interés práctico.

HISTORIA DEL APROVECHA-  
MIENTO DE LA ENERGIA  
GEOTERMICA.-

---

A) EN GENERAL

Desde hace tiempo la gente de varios países ha utilizado el calor de las fuentes termales y fumarolas sobre todo para cocinar. En otros países, como Islandia, se emplea para la calefacción además.

Vino luego la idea de producir energía a partir de esos recursos naturales y muchos años se han dedicado al estudio de tal posibilidad.

ITALIA.- Fue en Italia donde se hicieron los primeros ensayos y aplicaciones a este respecto.

En Italia las fumarolas se conocen con el nombre de "soffioni". Los llamados "lagoni" o "bulicami" son cuencas de agua sucia a través de la cual burbujan los gases. Las llamadas "putizze" consisten en emanaciones de  $SH_2$ , y las "mofetas" son emanaciones de  $CO_2$ , ambos fenómenos estos últimos que se realizan a la temperatura ambiente, ya sea que burbujan a través de masas de agua o no.

Los "soffioni" están distribuidos en un área de unas 80 millas cuadradas al S de Volterra (Larderello, Castelnuovo-Val de Cecina, Monterotondo, Sasso Pisano, etc.).

El conocimiento de esta región data desde tiempos antiquísimos; según parece, los ETRUSCOS ocupaban el  $Hc.$  bórico de los "lagoni" para fabricar el barniz para su alfarería.

En 1777, UMBERTO FRANCESCO HOEFER descubrió el  $Hc.$  bórico en las aguas de los "lagoni" de Monterotondo. Este descubrimiento transformó la región en una zona de producción y próspero desarrollo.

Unos años más tarde, PAOLO MASCAGNI propuso utilizar el calor volcánico para concentrar las aguas de los "lagoni" para ob-

tener el ác. bórico.

Muchos trabajos y estudios se hicieron en esta región pero todos encaminados a la industria del ác. bórico. No fué sino hasta 1894 que se hizo el primer ensayo para producir fuerza mecánica utilizando el vapor del subsuelo, con una rueda motriz de nueve caballos.

En 1904 se hizo un ensayo que produjo suficiente energía para alumbrar 5 focos.

En 1905 se instaló el primer motor de ém bolo de 35-40 HP, que accionaba una dínamo y produjo energía para toda la planta.

En 1914 se instalaron los primeros turbo generadores de importancia de 2750 Kw.

En 1923, en Serrazano se instaló un turbo generador de 40 HP. En 1926 un turbo generador de 600 Kw fué instalado en Castelnuovo Val di Cecina y durante 1929 fueron adiciona dos 2 de 800 Kw, y así otras más hasta llegar a la capacidad actual de 390.000 kw.

NUEVA ZELANDIA.- Los naturales de este país ocupaban desde antiguo el calor volcánico para cocinar sus alimentos. Mas recientemente, desde la ocupación europea, el agua caliente de los manantiales se ha ocupado para la calefacción.

En 1932-1933, BRUCE y SHORLAND publicaron unos artículos en el New Zealand Journal of Agriculture, donde abogaban por el uso industrial del vapor en el distrito de Rotorua-Taupo.

En 1937, GRANGE publicó un boletín acerca de la Geología de esa zona y en él apoyaba tales propósitos.

En 1948, el DEPTO. HIDROELECTRICO DEL ESTADO considerando la posibilidad de producir fuerza eléctrica a partir de otras fuen-

tes distintas de los ríos, llegó a la conclusión de que la producción de fuerza por el vapor geotérmico era la que ofrecía mejores posibilidades en cuanto a costos y realización de las operaciones en un tiempo razonable.

En 1949 se iniciaron las investigaciones, eligiendo para ello el área de Warakei. Se adquirieron equipos geofísicos del extranjero y se elaboraron programas.

A partir de entonces, hasta 1956, se han perforado más de 50 pozos, con profundidades de 500-3.200 pies, un 60 % de los cuales ha dado buenos resultados.

A la par de las perforaciones se ha llevado a cabo un levantamiento geológico de la zona, investigaciones químicas de los gases y aguas, ensayos de corrosión y mediciones de presión y temperatura con aparatos especiales.

Actualmente se instala una planta geotérmica con una capacidad de 150.000 kw., de la cual las primeras unidades (69.000 kw.) ya están en operaciones desde Noviembre de 1958.

JAPON.- Desde 1918 el Japón ha desarrollado incesantes investigaciones para la realización de la industria del vapor subterráneo.

Estas investigaciones fueron iniciadas por YAMANOUCHI, quien obtuvo vapor subterráneo en Beppu, en la isla de Kyushu.

En 1947 el Gobierno planeó el desarrollo de la energía subterránea en el distrito de Naruko y ensayó la generación de fuerza eléctrica con las perforaciones producidas por la TONE BORING CO.

En ese mismo año fué creado el COMITE INGENIERO para el desarrollo del vapor subterráneo para que se encargase de las investigaciones, el cual, junto con el SERVICIO GEOLOGICO DEL JAPON obtuvo vapor en Beppu.

En 1951 la OFICINA DE INGENIERIA INDUSTRIAL realizó pruebas de 30 kw de fuerza eléctrica con vapor en Beppu.

En 1953 el SERVICIO GEOLOGICO inició investigaciones en M. Showa Shinzan en Hokkaido y en M. Kirishima en Kyushu. El mismo tiempo, la COMPAÑIA ELECTRICA DE TOKIO y la CHUBU ELECTRIC POWER han realizado investigaciones en M. Shirane y la Compañía Eléctrica de Kyushu realizó dos perforaciones en Otake.

En 1954 la COMPAÑIA ELECTRICA DE KYUSHU emprendió otras dos perforaciones en Otake, las cuales ha continuado.

Se ha creado un Comité para acelerar el desenvolvimiento y utilización de energía del vapor subterráneo.

Todos los ensayos realizados hasta ahora en el Japón han sido solamente con fines de investigación.

MEXICO.- El problema eléctrico que en general aqueja al país por su escasez, ha hecho que se piense en aprovechar todos los recursos naturales de energía de que se halla dotado y uno de ellos es el geotérmico. Las investigaciones se han iniciado ya en la zona hidrotermal de PATHE GRANDE, en el estado de Hidalgo.

En Marzo de 1951, el Ingo. Vicente Cortez Herrera envió al entonces Presidente de México, Li. Miguel Alemán, un oficio sugiriendo se estudiara para fines eléctricos el aprovechamiento de la energía geotérmica de Ixtlán de los Hervores, en el estado de Michoacán.

Luego el geólogo José Isita Septién en su Tesis Profesional titulada "Ensayo Hidrológico de San Bartolomé Aguas Calientes, Estado de Guanajuato", hace referencia a los traba-

jos realizados en Italia y las exploraciones en The Geysers en California encaminadas al aprovechamiento de los gases calientes como fuentes de energía.

El Ingo. Luis F. de Anda realizó el primer estudio específico y concreto para efectuar el aprovechamiento de la energía geotérmica en producción de electricidad para México; este estudio fué presentado en Agosto de 1951 a la COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD y al BANCO DE MEXICO. Fueron comisionados los Ingos. Emilio Alanis Patiño y Emilio Rodríguez Mata para que juzgaran de la posibilidad de la realización, habiendo rendido un informe favorable.

En 1954 estuvo en Mexico el Sr. GUNNAR BODVARSON, ingeniero en jefe del Depto. Geotérmico de The Stante Electricity Authority de Islandia, a fin de dar su opinión acerca de los estudios realizados y visitar los lugares más prometedores ; Ixtlán de los Hervores y San Andrés, en Michoacán y Pathé en Hidalgo. El informe rendido por él en Agosto de 1955 fué favorable.

El Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales y el Instituto de Geología realizaron al mismo tiempo diversos estudios acerca de la zona de Ixtlán de los Hervores.

Establecida la COMISION DE ENERGIA GEOTERMICA se inició la perforación del primer pozo el 17 de Agosto de 1955 en Pathé, brotando el vapor el 14 de Enero de 1956 a ... 237.80 m y el primero de Agosto de 1956 brotó el vapor en el segundo pozo a sólo una profundidad de 64 m. Las investigaciones se continúan hasta la fecha, estando ya perforado un tercer pozo.

ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMERICA.- Ahí existen muchas zonas hidrotermales, entre ellas la de Steam Boat, cerca de Carson City en Nevada ; la de Yellowstone, en Wyoming; y la del condado de Sonoma en California, unos 80 km al N de San Francisco.

En la zona de Steam Boat se ha perforado ya cerca de 30 pozos, poco profundos, muchos de ellos ya incrustados, con profundidad máxima de 60 m en los que se obtuvieron temperaturas de  $138^{\circ}\text{C}$ .

Ultimamente, la PACIFIC GAS & ELECTRIC CO OF CALIFORNIA ha anunciado que proyecta producir electricidad con el vapor subterráneo obtenido conjuntamente con la MAGMA POWER CO OF LOS ANGELES y la THERMAL POWER CO OF SAN FRANCISCO.

El sitio elegido para la planta será cerca de Healdsburg, 60 millas al N de San Francisco, donde las fuentes termales y fumarolas son muy abundantes.

La MAGMA POWER y la THERMAL POWER han perforado en esta zona 4 pozos, cuyas profundidades fueron de 500 a 700 pies, dando temperaturas de  $600^{\circ}\text{F}$ . en la parte superior. La presión, cerrado el pozo, fué de  $300\text{-}400\text{ lb/pl}^2$ . Abiertos, la presión bajó a 100 lb y la temperatura a  $384^{\circ}\text{F}$ .

Según cálculos que se han hecho esta región puede llegar a producir de 50.000 a 5.000.000 de kw. Actualmente en construcción se encuentra una planta geotérmica con una capacidad de 12.500 kw.

ISLANDIA.- La más importante aplicación del calor natural en Islandia es para la calefacción doméstica y para los invernaderos.

La ciudad de Reykjavik, que es la capital

del país, cuenta con un sistema de calefacción central que utiliza el agua caliente de las fuentes termales y pozos perforados con dicho fin de una zona hidrotermal situada a 16 km al NW de la ciudad, Son 32.000 habitantes los que así disfrutan de la calefacción, además de edificios industriales, oficinas, invernaderos donde se cultivan muy bien plantas tropicales como plátano y café, y más de 80 piscinas.

Además de Reykjavik, cuatro comunidades, cada una con 1000 habitantes reciben calefacción por este medio.

Actualmente se planea extender el sistema y se cree que podría llegar a abastecer una población de 150.000 habitantes.

La utilización del vapor natural para producir energía se ha discutido mucho en Islandia, pero la abundancia de fuerza hidráulica ha restringido, hasta ahora, las posibilidades de este provecho. Sin embargo, desde 1946, el MINISTERIO DE COMUNICACIONES estableció el Comité encargado de realizar las investigaciones para conocer si las fuentes naturales de vapor del área termal de Hengill pueden ser utilizadas para la producción de fuerza.

También se han realizado investigaciones importantes en la isla de SANTA LUCIA (BRITISH WEST INDIES); en el CONGO BELGA en la región de Kiabukwa en Katanga, donde ya se ha instalado un turboalternador de 275 kw; en KENYA, al E de Africa, en Rift Valley of Kenya, a pocas millas al W del volcán extinguido M. Lungonot, donde ya se han realizado perforaciones de 6" y 8" con profundidades de 680 a 1250 pies.

En las INDIAS HOLANDESAS, en la región de

Kawah-Kamodjong, en 1926 se realizaron excavaciones exploratorias con fines de prospección, habiéndose obtenido vapor seco. La presión medida con válvula cerrada fué de 4.5 atmósferas. Temperatura ; 123° C. Producción: 8000 Kgr/h.

#### B) EN EL SALVADOR

Siendo nuestro país eminentemente volcánico era imposible que no setomaran en cuenta todas estas investigaciones y se tratara de hacer algo. Fué el DR. VICTOR ORTIZ el primero que consideró la posibilidad de aprovechar la energía geotérmica en nuestro medio.

En 1953, el MINISTERIO DE ECONOMIA contrató al DR. FRANCISCO PENTA y al INGO. ADOLFO PEROZZI, de la Universidad de Roma, Italia, a fin de que dictaminaran acerca de las posibilidades que ofrecen en nuestro país las manifestaciones fumarólicas. Habiendo visitado y observado las áreas fumarólicas más importantes, estos señores llegaron a la conclusión de que en realidad el país ofrece buenas posibilidades para el desarrollo de la industria geotérmica, lo que justifica la realización de investigaciones en gran escala.

En el mismo año, el geólogo del MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS hizo una recopilación de todos los campos fumarólicos del país describiendo sus características físicas, indicando los sitios de El Tronador, Cuyanausul y Ahuachapán, como los más favorables para futuras investigaciones.

En 1955 fué creado el SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL, el cual se hizo cargo de los estudios geotérmicos, contratando ese mismo año al SR. A.R.MCBIRNEY para que realizara investigaciones calorimétricas en los Ausoles de Ahuachapán.

En el mismo año se realizaron mediciones magnéticas en los ausoles mencionados con el objeto de localizar fosas tectónicas. Dichas mediciones fueron realizadas por los DRS. DURR y STÖBER, llegando a comprobar que tales métodos no son aplicables para la localización de grietas vaporíferas.

En Junio de 1956, el SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL inició la primera perforación en el área de Agua Shuca, la que tuvo que ser suspendida a los 184 pies por dificultades técnicas sin haber encintrado agua ni vapor.

En Enero de 1957 se inició otro pozo, del cual brotó a los 137 pies una columna de vapor y agua de 8 m de altura. Unos meses más tarde, y financiada por la COMISION EJECUTIVA HIDROELECTRICA DEL RIO LEMPA, se inició una tercera perforación en la misma región que las anteriores; este pozo brotó en vapor y agua a los 564 pies de profundidad, el 13 de Abril.

A mediados de 1957, la COMISION EJECUTIVA HIDROELECTRICA DEL RIO LEMPA contrató los servicios de la casa inglesa MERZ AND MCLELLAN para que informara acerca del probable alcance de un programa de desarrollo de la energía geotérmica en el país. Dicha casa en su informe da detalladas recomendaciones acerca de trabajos de exploración, gastos, materiales que se deben emplear, etc., indicando el área de El Playón de Ahuachapán como la más apropiada para tales trabajos.

Al mismo tiempo, el MINISTERIO DE ECONOMIA contrató los servicios de la SOCIETA LARDERELLO de Italia, la cual dictó un informe acerca de futuras exploraciones.

En Enero de 1958, la COMISION EJECUTIVA HIDROELECTRICA DEL RIO LEMPA solicitó al SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL encargarse de una exploración geotérmica en mayor escala.

Habiendo trasladado las operaciones del área de Agua Shuca al Playón de Ahuachapán, se inició la perforación del primer pozo en esta zona en el mes de Marzo, habiendo brotado vapor y agua al mes siguiente a una profundidad de 220 pies, en ese mismo mes se inició la perforación del segundo pozo, el PA 2, que brotó en Mayo a los 327 pies, con producción de vapor húmedo.

Dos pozos más (PA 3 y PA 4) perforados en el mismo campo fumarólico comprobaron que el vapor está limitado a fallas tectónicas.

Posteriormente (1959) se iniciaron estudios geotérmicos en el Playón de Salitre, usando métodos térmicos superficiales, habiendo perforado, además, hasta la fecha 4 pozos prospectivos para delinear la zona térmica

Es de subrayar que todos los estudios realizados hasta la fecha se han hecho con fines prospectivos para aclarar las condiciones térmicas y geológicas en el subsuelo, y que no existía la idea de hallar vapor utilizable inmediatamente para la producción de energía.

IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE GASES PARA TAL APROVECHAMIENTO.-

Una cuestión de primera importancia para el aprovechamiento de las riquezas naturales de vapor es la determinación del origen del mismo, es decir, si es de origen superficial o magmático, siendo este último el de utilizar para asegurar una mayor y más duradera producción: si el vapor es de origen superficial, eventualmente el pozo muy luego bajará en producción.

Condición muy importante, es, además, determinar la proporción vapor - gas no condensable: una elevada proporción de gases no condensables implicaría un mayor gasto en maquinaria para llevar a cabo su eliminación y

también se emplearía parte de la fuerza producida para accionar esa maquinaria de eliminación.

En Larderello, por ejemplo, el vapor contiene un promedio del 3 % de gases; alrededor del 10 % de la fuerza producida es utilizada en operar las bombas para remover los gases del condensador para mantener el vacío.

La calidad del vapor obtenido en Nueva Zelanda es mejor, pues su contenido en gases no condensables es de menos del 1 %, lo cual es más ventajoso para la producción de fuerza.

También es importante conocer si el vapor contiene elementos corrosivos, tales como  $\text{SH}_2$ ,  $\text{HCl}$ , etc. Demás está decir el daño que tales elementos ocasionarían en la maquinaria estando presentes y si no se toman medidas para eliminarlos.

GENERALIDADES ACERCA DEL ANALISIS DE GASES.- El análisis químico de muestras de gases se hace, ordinariamente, midiendo los componentes rara vez pesándolos, y los resultados se expresan en volúmenes por ciento.

TOMA DE MUESTRAS.- La toma y conservación de una muestra de gas ofrece ciertas dificultades, debido a la propiedad que tienen de difundirse rápidamente aún estando separados por cuerpos sólidos, si son porosos, o por líquidos; en este caso, la difusión será tanto más rápida cuanto más alta sea la capacidad del líquido para absorber los gases.

El líquido que mejor se presta para este objeto es el mercurio (es lógico suponer que no se empleará para recoger aquellos gases que se combinan con él, como el  $\text{Cl}$ ,  $\text{SH}_2$ ,  $\text{Br}$  ).

Si el análisis ha de retardarse mucho tiempo o ha de enviarse a larga distancia, lo más apropiado es recogerlo en tubos de vidrio secos cerrados a la lámpara, pues a través del

vidrio no hay difusión, pudiendo conservarse invariables las muestras durante años.

Si el análisis se ha de realizar en el término de pocos días, los gases pueden recogerse en tubos en forma de pipeta, con los extremos cerrados por medio de tubos de caucho tapados con un trozo de varilla de vidrio de extremos redondeados.

También pueden ser recogidos los gases sobre agua previamente saturada del gas a analizar; esto para análisis no muy exactos y que deben ser realizados inmediatamente.

Hay diferentes métodos para la toma de las muestras de gases, según sean de lugares accesibles o no, de aguas minerales, etc. Más adelante describo el empleado en el presente trabajo.

METODOS DE ANALISIS  
DE GASES.-

---

Se han dividido en tres grupos :

- a) métodos de absorción
- b) métodos de combustión
- c) métodos volumétricos

En los métodos de absorción se trata la mezcla de gases con una serie de sustancias absorbentes que se emplean una después de la otra. La diferencia de los volúmenes del gas antes y después de la absorción representa la cantidad de gas absorbido. Así se determinan el CO<sub>2</sub>, hidrocarburos pesados (benceno, etileno, etc.), O<sub>2</sub> y CO. Queda un residuo gaseoso de H, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>. Los dos primeros se determinan por combustión, el último restando de 100 el total de los otros gases.

En los métodos de combustión, los componentes se mezclan con aire o con O en cantidad suficiente para asegurar la combustión completa y se queman en un aparato apropiado. La cantidad de gas combustible se determina midiendo la contracción, la cantidad de CO<sub>2</sub> pro

ducido y a veces, incluso, el O empleado en la combustión. A partir de estos datos se pueden calcular las partes combustibles.

Los métodos gas-volumétricos consisten en medir el gas desprendido en una reacción química y de ahí se deduce el peso del cuerpo que lo produce. Por ejemplo: la determinación de  $\text{CO}_2$ , tratando un carbonato por un ácido y averiguando la cantidad de  $\text{CO}_2$  desprendida. También se emplea este método en la determinación del  $\text{NO}_3\text{H}$  de los nitratos, del C del acero y del Fe.

Para el presente trabajo se ha empleado el método de absorción, con el aparato de Orsat, el cual se describe más adelante.

A continuación doy algunas características de los gases determinados en el presente trabajo.

**ANHIDRIDO CARBONICO.**- Se determina siempre por absorción. Es incombustible. Tiene sabor ácido y goza de propiedades ácidas poco energéticas; enrojece débilmente al tornasol. Poco soluble en el agua. Es absorbido por las soluciones alcalinas, empleándose corrientemente con este fin:  $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Ba}(\text{OH})^2$ .

Su dosificación en muestras gaseosas que no tienen otros gases absorbibles por los álcalis es fácil.

Si sólo se quiere determinar  $\text{CO}_2$  en una mezcla gaseosa se puede emplear la ASCARITA, que es amianto impregnado de  $\text{NaOH}$ . La cantidad de  $\text{CO}_2$  será dada por el aumento de peso del tubo absorbente.

Cuando la cantidad de  $\text{CO}_2$  a determinar es poca se emplea el  $\text{Ba}(\text{OH})^2$ . Así por ejemplo, en el análisis del aire se agita una gran cantidad de aire en un pequeño volumen de solución titulada de  $\text{Ba}(\text{OH})^2$  y el exceso de base se titula por  $\text{HCl}$  y fenolftaleína.

El uso de la KOH se prefiere al de la NaOH por varios motivos : por ser más barato, no hacer espuma cuando el gas burbujea en él y también por que el  $\text{CO}_3\text{HK}$  formado al usar KOH es más soluble en la solución alcalina que el  $\text{CO}_3\text{HNa}$  y absorbe mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  sin separación de sustancia sólida.

Si el gas a analizar tiene, además, otros componentes de naturaleza ácida como  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SH}_2$ ,  $\text{HCN}$ ,  $(\text{CN})_2$ , hay que separarlos antes de determinar el  $\text{CO}_2$ . O bien, se determinan en otro volumen de gas y luego se restan del volumen absorbido por la KOH.

OXIGENO.- Es incombustible. Mantiene la combustión. No es absorbido por la KOH.

Se puede determinar por combustión o por absorción. Los absorbentes más empleados son:

- a) barras de P amarillo
- b) solución de  $\text{Cl}_2\text{Cr}$ , que es el absorbente más rápido y para varios fines el más exacto. Pero tiene el inconveniente de ser muy difícil de preparar y de conservar.
- c) Cu caliente o Sol. amoniacal de carbonato de amonio, con rollos de gaza de Cu
- d) sol. alcalina de  $\text{S}_2\text{O}_3\text{Na}_2$  (tiosulfato de sodio).
- e)  $\text{Mn}(\text{OH})^2$  que se emplea para la determinación del O disuelto en el agua fijándolo al estado de ác. manganeso y luego la cantidad de O absorbido se determina por Yodometría.
- f) sol. alcalina de ác. pirogálico, que es su reactivo más importante. El pirogalato no absorbe el N, H ni los gases combustibles.

MONOXIDO DE CARBONO.- Se caracteriza por su combustibilidad. El color de su llama es azul, más brillante que la del H.

Mezclado con el aire o con el O arde con una pequeña explosión. No deposita agua sobre las paredes de la probeta durante la combustión lo que lo distingue del H, SH<sub>2</sub>, etc. El cianógeno no produce agua tampoco pero el color de su llama y su olor no permiten confusión. El CO produce CO<sub>2</sub> en la combustión.

El mejor reactivo para la absorción del CO es la sol. clorhídrica de ClCu, que absorbe cerca de 20 v. su volumen de CO. Esta solución absorbe también el O, PH<sub>3</sub>, AsH<sub>3</sub> y, en general, todos los gases absorbibles por la KOH.

LEBEAU y BEDEL observaron que se favorece la reacción de absorción del CO añadiendo B naftol.

ACIDO SULFHDIRICO.- Es fácil de reconocer por su olor. Arde con llama azulada depositando S.

Es soluble en el agua. Las soluciones alcalinas lo absorben en proporción considerable: los sulfuros alcalinos así formados dan, con el nitroprusiato de sodio, una bella coloración roja. Un gran número de sales metálicas (Pb, Cu, etc.) absorben el SH<sub>2</sub> y dan precipitados diversamente coloreados. Un papel impregnado de acetato de Pb se ennegrece en contacto con el SH<sub>2</sub>: esta reacción es muy sensible.

La determinación del SH<sub>2</sub> en presencia de gases no absorbibles por los álcalis es muy simple: introduciendo en el gas un fragmento de KOH húmeda, la absorción se produce rápidamente. Pero a menudo hay que hacer análisis de gases en los que se encuentran CO<sub>2</sub> y SH<sub>2</sub>. Entonces hay que proceder a eliminar el SH<sub>2</sub>, lo cual podría hacerse absorbiéndolo por medio de una solución de SO<sub>4</sub>Cu previamente saturada de CO<sub>2</sub>; o bien, se absorben juntos por la sol. alcalina y luego en ésta se determina el SH<sub>2</sub> por Yodometría, teniendo cuidado de sa-

turar de ácido acético la sol. alcalina para evitar que lleve álcali libre. También puede determinarse el SH<sub>2</sub> en otro volumen de gas por Yodometría y luego se resta del volumen absorbido por la KOH.

Para este trabajo determiné el SH<sub>2</sub> en otro volumen de gas, el que hacia pasar por un tubo de Orsat conteniendo la sol. de I hasta completar su absorción; en otro volumen determinaba juntos CO<sub>2</sub> y SH<sub>2</sub> por medio de la absorción con la KOH y luego restaba de este valor el valor del SH<sub>2</sub> obtenido anteriormente.

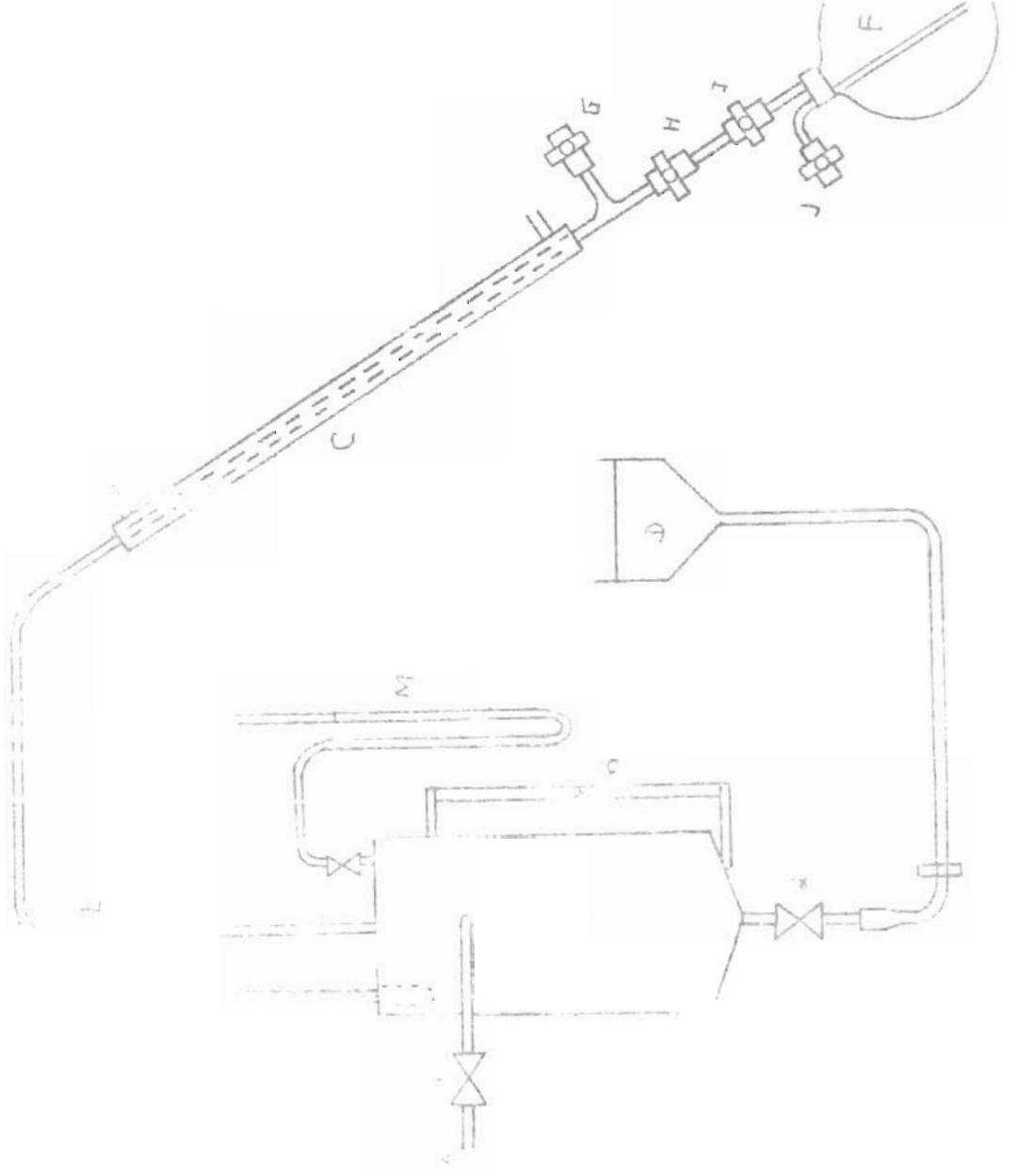
DESCRIPCION DEL APARATO EMPLEADO PARA TOMAR LAS MUESTRAS.- El aparato empleado en este trabajo para la toma de las muestras fué construido en el país por el S.G.N.

Consiste esencialmente de un separador S cuya función es separar el agua de la mezcla vapor-gas - agua; al lado de éste se encuentra un tubo de nivel n, que, como su nombre lo indica, sirve para conocer el nivel del agua en el separador; comunica, además, con un manómetro M, un termómetro T y un tubo encorvado E que se continúa en un condensador C que condensa el vapor de la mezcla vapor-gas, y finalmente va a dar al frasco recolector F donde se recoge el condensado y el gas. Este frasco debe ser llenado de agua al comienzo de la operación

El agua que enfría el condensador y el frasco recolector es vertida en un recipiente metálico que comunica con el sistema por medio de una manguera de hule.

El recipiente en forma de embudo D sirve para llenar de agua el separador S, con el que comunica por un tubo de goma y la válvula 2.

El aparato se comunica con el pozo por medio de una manguera de hule que se conecta en A. La llave 1 sirve para permitir o no la entrada del gas en el aparato.



Para comunicar con el pozo, se adapta a éste una pieza con un tubo lateral, que es por donde se establece el paso del gas para el aparato por medio de una manguera de hule.

MANEJO DEL APARATO PARA TOMAR MUESTRAS.-

1.- Abrir en G y la válvula 2; por medio del embudo D llenar completamente de agua el separador S, controlando el nivel por el tubo de nivel.

2.- Cerrar la válvula 2; desconectar D zafando el tubo de goma. Abrir la válvula 1 y purgar el tubo E y el condensador C, dejando fluir el gas por unos minutos a través de G.

3.- Abrir la válvula 2 y dejar escapar el agua de su interior hasta que el gas penetrando por 1, fluya libremente a través de 2. De - jar así unos 5-10 min.

4.- Abrir I, J, H; cerrar 2 y G (puede de - jarse abierta) el gas penetrará en F desalo-jando el agua que contiene por medio de J.

5.- Dejar fluir el gas a través del apara-to unos 10-15 min. procurando un enfriemien - to mejor posible en C y F.

6.- Para concluir, abrir G (si estaba cerra-da), cerrar J, I, H, finalmente la válvula 1.

Las muestras fueron conducidas al laboratorio para su análisis, invertidas en recipientes de hojalata conteniendo agua hasta la mitad, quedando así el cuello del frasco reco - lector sumergido en el agua.

Verificados los análisis se encontraron diferencias considerables entre muestras trans-portadas con esta precaución y muestras trans-portadas corrientemente, es decir, sin inver - tir sobre agua, como se podrá apreciar en el cuadro siguiente :

	CO <sub>2</sub> %	CO %	O <sub>2</sub> %
1.- PA 1	12.5	0	15.5
2.- PA 2	2.5	0	18.25
3.- PA 1	50.0	0	5.0
4.- PA 2	65.0	0	1.0

Las muestras 1 y 2 fueron transportadas corrientemente.

Se recomienda, asimismo, mucho cuidado en la toma de las muestras, para evitar en lo posible una contaminación con aire, lo que alteraría los resultados.

En el cuadro siguiente podemos ver gráficamente la ilustración de este caso : las muestras 1 y 2 ofrecen bastante diferencia con las Nos. 3 y 4 provenientes de los mismos pozos respectivamente, habiendo sido transportadas invertidas sobre agua, con las mismas precauciones por lo que se deduce que las alteraciones son debidas a descuidos en el momento de tomarlas.

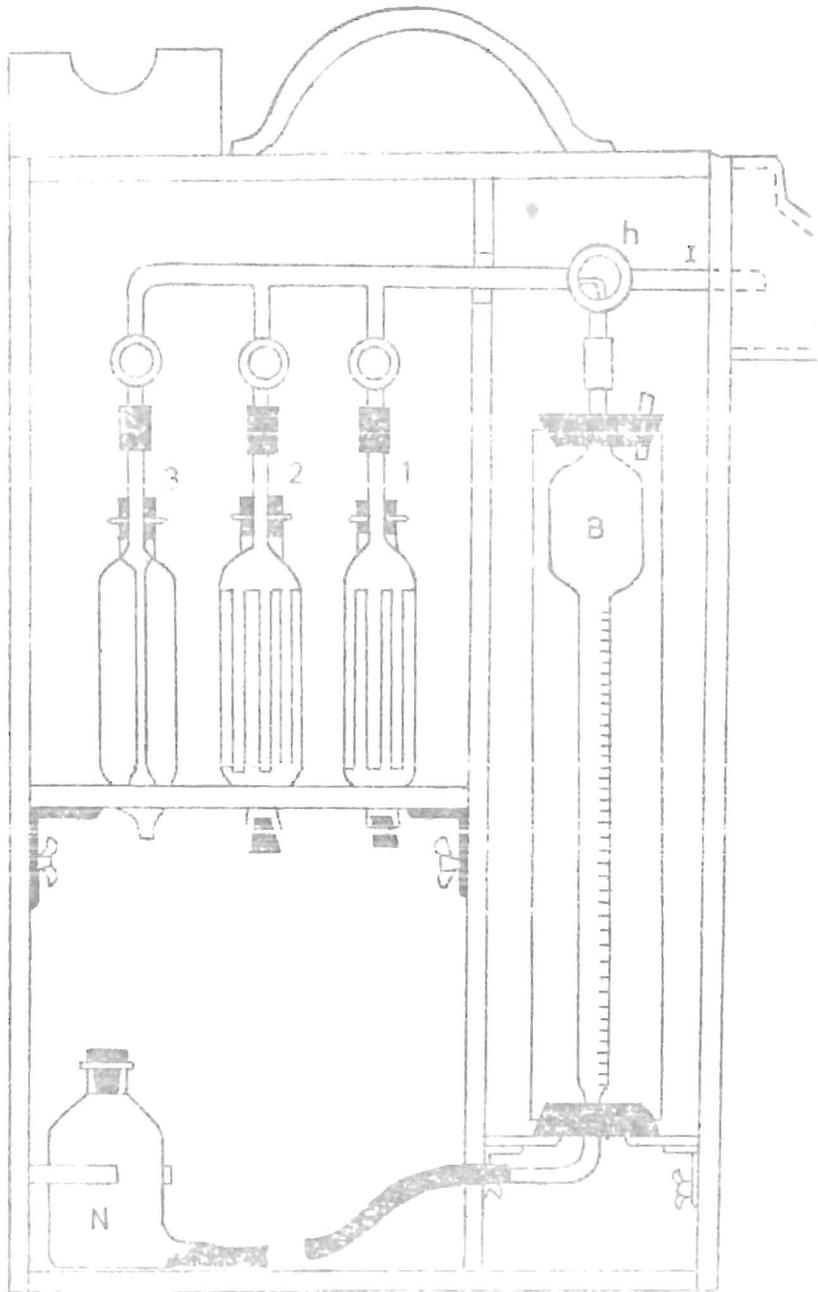
	CO <sub>2</sub> %	CO %	O <sub>2</sub> %	SH <sub>2</sub> %
1.- PA 1	9.3	0	9.7	15.0
2.- PA 2	22.0	0	10.0	28.0
3.- PA 1	50.0	0	5.0	35.0
4.- PA 2	68.0	0	2.0	28.0

De cada pozo se tomaban dos muestras: una para analizar los gases no condensables y otra para analizar los condensados.

DESCRIPCION DEL APARATO DE ORSAT.-

Consiste en un tubo graduado de 100 ml. (B), metido en un cilindro con agua que comunica por medio de la llave de tres vías h con el exterior en I, por la parte de atrás con la muestra y a la izquierda con un tubo múltiple con tres llaves que dan a los tubos de Orsat 1, 2, 3. El tubo 1 contiene KOH y

APARATO DE ORSAT



sirve para la absorción del CO<sub>2</sub>; el tubo 2 con solución alcalina de pirogalol absorbe el O<sub>2</sub>, y el 3 conteniendo solución ácida de ClCu para absorber el CO. Los tubos 1 y 2 contienen tubos de vidrio para aumentar la superficie de contacto con el reactivo.

Por manipulación del frasco de nivel, ya sea subiéndolo o bajándolo se llena o se vacía el tubo graduado con agua o una solución de contraste, como en nuestro caso.

Para hacer pasar la muestra al tubo graduado B se procede como sigue: abrir la llave h para el exterior y levantando el frasco de nivel, llevar el nivel del agua en el tubo graduado hasta la parte superior; cerrar con una pinza la manguera de hule que pone en comunicación el frasco de nivel con el tubo graduado. Comunicar h con la muestra; bajando el frasco de nivel y aflojando la pinza se hace entrar la muestra de gas en el tubo graduado.

COMO PROCEDER PARA REALIZAR UN ANALISIS.-

1.- Colocar el aparato en el lugar en el cual se va a realizar el análisis. Dar media hora o más, con ambas puertas abiertas, para que el aparato se equilibre con el aire ambiental. Medir la temperatura.

2.- Manipulando las llaves respectivas y bajando el frasco nivelador llevar el reactivo hasta las marcas grabadas sobre las pipetas capilares de absorción.

3.- Si se tiene suficiente muestra a la mano, limpiar la bureta tres veces con muestras sucesivas del gas, dejando fluir el gas a través del agujero de la llave.

4.- Tomar más de 100 ml. de muestra. Cerrar h completamente; comprimir la muestra a 100 ml. exactamente levantando el frasco nivelador. Cerrar la manguera con una pinza.

Manipulando la llave h comunicar con el exterior para igualar la presión dentro del tubo graduado con la exterior.

5.- Cerrar h, soltar la pinza de la manguera y revisar el volumen de la muestra con el nivel del líquido en la bureta manteniendo el frasco de nivel a la misma altura. Apuntar el volumen como lectura inicial.

6.- Conecte la bureta con el tubo múltiple y abra la llave de la pipeta de KOH. Se recomienda levantar un poco el frasco nivelador antes de conectar la bureta con la pipeta de KOH para prevenir cualquier elevación de KOH dentro del tubo múltiple.

7.- Pase el gas dentro de la pipeta de KOH por elevación del líquido de la bureta a la parte más baja de la llave de la bureta. Regrese el gas a la bureta bajando el frasco nivelador hasta que el nivel de KOH llegue a la marca sobre los tubos de la pipeta. (Precaución : reduzca la presión bajando el frasco nivelador hasta que el nivel de KOH llegue a la porción de los capilares de la pipeta).

Repetir esta operación tres veces más. Leer el volumen del gas en la bureta después de cuatro pasadas. Continuar el mismo procedimiento, leyendo el volumen después de cada pasada hasta que dos lecturas consecutivas sean las mismas indicando con esto completa ausencia de CO<sub>2</sub>; escribir el volumen de gas residual. Cerrar la llave de la pipeta de KOH.

8.- Levantar escasamente el frasco nivelador y abrir la llave del pirogalol. Repetir el mismo procedimiento que se indicó para la absorción del CO<sub>2</sub>. Apuntar el volumen después de completar la absorción del O. Cerrar la llave del pirogalol.

9.- Abrir la llave de la pipeta burbujeante. Pasar el gas 4 veces por la pipeta burbu-

jeante . Regresar el gas a la bureta, cerrar la llave de la pipeta y abrir la llave de la pipeta del pirogalol, pasando el gas dos veces por ella. Regresarlo a la bureta y medirlo : una pérdida en el volumen indica presencia de CO; Repetir el procedimiento hasta obtener dos lecturas iguales.

10.- Descargar el gas residual a través de las aberturas de la llave de la bureta.

PREPARACION DE REACTIVOS/-

SOLUCION DE HIDROXIDO DE POTASIO.- Para la absorción del CO<sub>2</sub>.

- KOH electrolítica
- (no purificada en alcohol) ..... 335 gm.
- agua ..... 915 ml.

SOLUCION DE PIROGALATO ALCALINO.- Para la absorción del O. Se preparan 2 soluciones las cuales se mezclan en el momento de usarse.

La solución de KOH es la misma que se emplea para la absorción del CO<sub>2</sub>, por lo que se recomienda preparar una mayor cantidad de solución.

Solución de KOH:

- KOH electrolítica
- (no purificada en alcohol) ..... 224 gm.
- agua ..... 576 ml.
- Hacer 630 ml.

Solución de ácido pirogálico :

- ác.pirogálico resublimado ..... 200 gm.
- agua caliente ..... 270 ml.
- Hacer 400 ml.

Enfriar las soluciones a la temperatura del cuarto. Mezclar según se necesiten en la proporción de 1.6 : 1 (solución de KOH : ácido pirogálico). Preservar la mezcla del contacto con el aire. Guardar las soluciones separadas en frasco con tapón de hule. La mezcla no debe conservarse.

SOLUCION DE CLORURO CUPROSO ACIDO.- Para la absorción del CO :

Cloruro cuproso ..... 180 gm.  
HCl concentrado ..... 1000 ml.  
Preservar la solución del contacto con el aire ( puede lograrse este objeto colocando una delgada capa de vaselina líquida sobre la superficie del líquido; ésto mismo se aplica para la solución de ác. pirogálico).

Insertar virutas de Cu limpias dentro del frasco de la solución para mantener el Cu al estado cuproso. También se pueden insertar virutas de Cu en el receptáculo de la pipeta del  $\text{ClCu}$ . La solución presenta color amarillo ver doso o pajizo. Unas pocas gotas adicionadas a un poco de agua producirán un precipitado blanco.

SOLUCION DE CONTRASTE.- Solución de  $\text{ClNa}$  al 20 % en peso en agua, acidificada con el 5 % de HCl concentrado, por volumen.

Para hacer más visible la solución se recomienda adicionar unas cuantas gotas de indicador de anaranjado de metilo. Un desvanecimiento en el color del indicador denotará contaminación con el líquido alcalino.

Para trabajos precisos esta solución o líquido de contraste debe ser saturada con el gas que se va a analizar. La saturación se puede realizar agitando el agua en una vasija cerrada con el gas, o bien, si se dispone de suficiente muestra, se hace burbujear el gas através del agua durante algún tiempo. Este líquido ya saturado puede ser conservado en vasijas bien cerradas para prevenir pérdidas de gas.

CALCULO .-

Como ya dije, en el análisis de gases los resultados se dan en volúmenes por ciento.

Sean 100 los ml de gas medidos. Al completar la absorción del  $\text{CO}_2$ , el volumen bajó en 30, por ejemplo, lo que indica que el gas analizado contiene un 30 % de  $\text{CO}_2$ . Al comple-

tar la absorción del O el volumen disminuyó a 32 : ésto indica que el contenido de O es del 2 %. De la misma manera se procede para el CO y el SH2.

CONCLUSIONES .-

El objeto del presente trabajo, como ya dije, es conocer la composición de las emanaciones vaporíferas del campo fumarólico de Ahuachapán para determinar qué elementos podrían emplearse en un levantamiento gasométrico en caminado a localizar fallas tectónicas de vapor.

Se realizaron análisis de gases, condensados y aguas provenientes de perforaciones realizadas en las áreas de El Playón de Ahuachapán y Agua Shuca.

A continuación expongo un cuadro comparativo de los resultados de los análisis de gases, indicando sus contenidos máximos y mínimos. Luego consideramos los condensados y finalmente una comparación con aguas provenientes también de las mismas perforaciones.

	PA 1	PA 2	AS III
CO2 %	30-66	45-69	42-60
SH2 %	31-55	28-30	33-50
O2 %	1-5	1-4	2-5
CO %	0	0	0

De donde resulta que entre los diferentes pozos no existe una diferencia notable respecto al contenido gaseoso, aunque el PA 2 tiene un contenido más bajo en SH2, en realidad la diferencia no es mucha. Podemos muy bien suponer que los vapores proceden de una misma falla tectónica.

Se puede ver que los gases principales son el CO2 y el SH2, siendo el primero el más importante, lo que está de acuerdo con análisis verificados en otras regiones del mundo.

Para un levantamiento gasométrico se ofrecen, por lo tanto, solamente los dos gases mencionados. Considerando que el aire contiene ya una cierta cantidad de CO<sub>2</sub> (0.03%), resultaría muy difícil determinar un aumento en la proporción de este gas causado por una infiltración ya que éstas son muy reducidas. Por otro lado, el aire está exento de SH<sub>2</sub>, por lo que cualquier contaminación con este gas implicaría, necesariamente, una infiltración de gases provenientes de la profundidad. Por lo tanto, queda para un levantamiento gasométrico solamente la posibilidad de usar el SH<sub>2</sub> como guía.

Condensados,- En el siguiente cuadro comparo los valores de pH, Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>-</sup> obtenidos en los análisis; también se anotan los valores máximos y mínimos de CO<sub>2</sub> (libre, combinado y agresivo) :

	PA 1	PA 2	AS III
pH	4.1-5.5	3.4-5.3	4.1-5.1
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ppm	8.5-54.0	3.0-41.0	8.0-45.0
Cl ppm	14.2-31.9	14.2-21.2	7.1-28.3
CO <sub>2</sub> libre <sup>ppm</sup>	44.0-171.6	96.8-110.0	46.2-158.4
CO <sub>2</sub> comb.	4.4-6.6	2.2-4.4	4.4-5.5
CO <sub>2</sub> agr.	41.4-114.0	81.3-90.0	43.5-115.1

No hay una diferencia apreciable en el contenido químico de las muestras procedentes de los tres pozos, lo cual indica que proceden de la misma fuente.

Comparando pH, SO<sub>4</sub><sup>-</sup> y Cl<sup>-</sup> de los condensados con los de las aguas de los mismos pozos, obtenemos los siguientes datos :

	p H	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ppm	Cl <sup>-</sup> ppm
PA 1 a)	4.1-5.5	8.5-54.0	14.2-31.9
PA 1 b)	3.7-4.5	280.0-525.0	28.3-35.4
PA 2 a)	3.4-5.3	3.0-41.0	14.2-21.2
b)	2.8-4.4	70.0-113.0	42.5-99.2
AS III a)	4.1-5.1	8.0-45.0	7.1-28.3
b)	1.9-3.4	37.5-99.0	28.3-42.5

Siendo a) condensado

b) agua

Podemos deducir :

- 1.- pH más bajo corresponde a las aguas.
- 2.- Valores de SO<sub>4</sub><sup>-</sup> y Cl<sup>-</sup> más altos corresponden, asimismo, a las aguas.
- 3.- El pH más bajo de las aguas se debe al mayor contenido en SO<sub>4</sub><sup>-</sup> y Cl<sup>-</sup>, como ya lo demostró VALIENTE (1959).

Comparando los valores promedios de CO<sub>2</sub> libre, fijado y agresivo entre los condensados y las aguas de las diferentes perforaciones hemos encontrado :

C O 2 p.p.m.

		LIBRE	FIJADO	AGRESIVO
PA 1	a)cond.	72.4	4.8	72.0
	b)agua	2.6	33.1	2.2
PA 2	a)	103.4	3.1	85.5
	b)	18.1	37.4	13.3
AS III	a)	104.3	4.7	82.5
	b)	17.6	35.2	14.7

Resulta que en todas las perforaciones los valores de CO<sub>2</sub> libre y agresivo son mayores para los condensados que para las aguas, mientras que éstas son más ricas en CO<sub>2</sub> fijado, lo que es de suponer por el comportamiento físico-químico de tales mezclas.

Por otro lado tenemos el contenido de CaO y MgO : mientras que las aguas contienen cantidades considerables en CaO y MgO ( hasta 89.7 ppm y 8.0 ppm respectivamente, según VALIENTE, 1959), los condensados acusan cantidades muy pequeñas y hasta nada (valores máximos de CaO : 0.140 ppm , MgO : 0.4 ppm). Esto se explica por el hecho de que los condensados son destilados y por lo tanto, su contenido en sales fijas será menor.

RESUMEN .-

- 1.- Las manifestaciones gaseosas de la región geotermal de Ahuachapán están caracterizadas por la presencia de vapor de agua, CO2, SH2 y O2.
- 2.- El análisis promedio de los componentes más importantes de los condensados es el siguiente :

pH	.....	4.7
SO4 <sup>-</sup>	.....	25.7 ppm
Cl <sup>-</sup>	.....	18.6 "
CO2 libre	.....	93.3 "
CO2 fijado	.....	3.5 "
CO2 agresivo	.....	80.0 "
CaO	.....	.046 "
MgO	.....	.201 "

- 3.- El análisis promedio de los gases es como sigue :

CO2	.....	50 %
SH2	.....	38 %
O2	.....	2 %

- 4.- Los diferentes pozos no se distinguen, esencialmente, unos de otros ni en la composición de sus condensados ni en la de sus gases, lo que hace suponer que todos los pozos obtienen su producción de la misma fuente.
- 5.- Para un eventual levantamiento gasométrico se ofrece solamente el SH2.-

=====

DATOS FISICOS DE PERFORACIONES REALIZADAS  
EN OTROS PAISES

	Nº 1	Nº 2	Nº 3
JAPON			
Diámetro superior (mm)	75	150	200
Profundidad (m)	300	300	400
Temperatura en el fondo (OC)	183	184	183
Presión (cerrado)	7.78	6.35	?
Temperatura (cerrado)	144	145	?

	Temperatura OC	Profundidad m
MEXICO		
Pathé Nº 1	200	243
Pathé Nº 2 Bis	129	278.5
Pathé Nº 3	151	346
NUEVA ZELANDIA		
Pozo 2-A	70	30
" 4	165	210
" 9	190	120
" 11	170	190
ISLANDIA		
Reykjakot I	140	70
Reykjakot II	150-155	170
Hveragerdi	120-130	40
Reykjakot	175	140
Reykjadalur	160	110
Frems tidalur	40	65

DATOS QUIMICOS DE ANALISIS REALIZADOS EN OTROS PAISES

	N2	O2	H2	CO	CO2	SH2	SO2	CH4	HCl
ISLANDIA.- (Clark)									
a) Fumarola en el cráter del Heckla	81.81	14.21	-	-	2.44	-	1.54	-	-
b) Fumarola en la lava del Heckla	78.90	20.09	-	-	1.01	-	-	-	-
c) Solfatara en Krisuvik	1.67	-	4.30	-	87.43	6.60	-	-	-
d) Grupo de fumarolas en Reylejalidh	.72	-	25.14	-	50.00	24.12	-	-	-
e) Fumarola a 1/4 legua de Krisuvik	.50	-	4.22	-	79.07	15.71	-	-	-
INDIAS ORIENTALES.- (Clark)									
Fumarola en Mont-Pelé, Martinica. Gas reco-									
lectado después de una erupción. T:400 C	24.94	13.67	8.12	1.60	15.38	-	-	5.46	trazas
b) Fumarola al N de Guadalupe	36.07	7.5	-	-	52.8	2.7	-	-	trazas
c) Fumarola Napoleón, Guadalupe	22.32	2.7	-	-	69.5	4.5	-	-	-
ITALIA.- (Clark)									
1.- Fumarolas del Etna:									
a)	77.28	17.27	-	-	5.00	.45	-	-	-
b)	79.07	18.97	-	-	1.61	.35	-	-	-

	N2	O2	CO2	SO2	SH2	CH4
2.- Gases de Vulcano-						
a) Muestra tomada del cráter. Depósitos de B03H3.T. superior al Punto de F del Pb.	50.77	10.10	-	39.13	-	-
b) Muestra similar a la anterior pero sin B03H3	58.48	14.02	-	27.50	-	-
c) Fumarola sulfurosa al N del volcán	24.4	5.5	-	69.6	-	-
d) Gas de una cavidad llena de H2O caliente (Aqua-Bollente), cerca de la costa.	9.8	.7	6.4	-	83.1	-
e) Gas de una depresión todavía más lejos del cráter	14.0	-	86.0	-	-	-
3.- Gases de Pozzuoli						
a)	26.18	5.72	56.67	-	11.43	-
b)	77.5	15.51	15.09	-	-	-
4.- Gases de fumarolas de Sicilia						
a) Lago Palicci	3.52	1.10	94.70	-	-	.68
b) Salinelli de Paterno	3.3	1.0	90.70	-	-	5.00
c) Macaluba de Xirbi	20.40	5.17	.70	-	-	73.73
d) Macaluba de Girgenti	6.75	1.70	1.15	-	-	90.40

	BO	3H3 % H2O conde.	NH3 o/oo condensado	razón gas-vapor	CO2 % gas nat.	SH2% gas nat.	gas residual % en gas natural	H2 % gas res.	CH4 % gas res.	N2 % gas res.
Larderello	.30	.26	.37	93.83	2.56	3.62	51.69	30.45	17.86	
Castel nuovo	.24	.35	.48	95.98	1.75	2.27	47.72	32.19	20.06	
Sasso	.34	.10	.30	91.77	2.77	5.46	46.97	39.19	13.84	
Montero tondo	.42	.054	.26	89.30	2.20	8.50	42.0	44.0	14.0	
Serrazano	.31	.11	.29	91.32	3.03	5.65	62.55	26.61	11.84	
Lago	.32	.054	.23	89.48	3.02	7.50	60.0	26.0	14.0	
Lagoni	.29	.07	.29	88.60	4.0	7.40	69.90	18.0	12.10	
Travale	.072	.20	1.73	94.18	.72	5.10	5.30	60.80	33.90	

	H2O	N2	O2	CO2	CO	S2	S02	S03	SH2	H2	CH4	HCl	Cl2	HF
HALEMAUNAU (Rankama)	67.80	7.65	-	12.71	.67	1.04	7.03	1.83	-	.75	-	-	.41	-
KATMAI (Rankama)	99.65	-	.002	.97	pres	-	-	-	.029	-	.015	.117	-	.032
WAIKAKAI, Nueva Zelandia (Grango)	-	.0007	-	.48	-	-	-	-	.0132	-	.0003	-	-	-

	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	SH <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> por dif.	CO	iluminantes	parafinas to tales
MEXICO - pozo # 3 Pathé. Hgo.	5.3	17.9	0	1.3	74.8	.7	0	0
a) T: 98 C. - P: 10 cm Hg- cono: 30 cm	8.5	17.5	0	.2	73.3	.4	0	0
b) T: 98 C. - P: 10 cm Hg- cono: 30 cm	23.2	13.9	0	.4	62.3	.2	0	0
c) T: 105 C. - P: 32.2 cm Hg- cono: 20 cm	45.6	8.8	0	.2	45.3	.1	0	0
d) T: 105 C. - P: 32.2 cm Hg- cono: 20 cm	6.4	14.6	0	1.0	77.8	.2	0	0
e) T: 101.5 C. - P: 16.5 cm Hg- cono: 25 cm	7.5	18.0	0	.9	73.2	.4	0	0
f) T: 101.5 C. - P: 16.5 cm Hg- cono: 25 cm								

JAPON. - Del Japón los datos que nos llegan solamente indican porcentaje de vapor de agua, algunos datos de SH<sub>2</sub> y más generalmente sólo dan informes cualitativos. Así tenemos:

Naruko                    94 - 96% de H<sub>2</sub>O  
                                   .19 - .85% de SH<sub>2</sub>

Showa-Shinzan contiene SO<sub>2</sub> y SH<sub>2</sub>.  
 M. Shirane: abundancia de SH<sub>2</sub>

DATOS FISICOS DE PERFORACIONES EN EL SALVADOR

Nº 2

	A S III	P A 1	P A 2
Fecha de iniciación	23/1/57	14/3/58	23/4/58
Fecha de apertura	13/4/57	9/4/58	20/5/58
Profundidad (pies)	564	220	327
Diámetro en el fondo	1.8"	2.3/8"	2.3/8"
Temperatura en el fondo	218 Gr. C	? 160	? 180
Producción	vapor húmedo	agua hirviendo	vapor húmedo
Columna vapor/ agua	3 m.	10 m.	10 m.
Cantidad estimada	1.000 lb/h	40.000 lb/h	10.000 lb/h
Calidad estimada	50% vapor <sup>2</sup>	5% vapor <sup>2</sup>	70% vapor <sup>2</sup>
Presión con válvula cerrada	45 lb/pl <sup>2</sup>	15 lb/pl <sup>2</sup>	35 lb/pl <sup>2</sup>
Horizonte geológico del vapor	?	grieta	grieta

DATOS QUIMICOS DE ANALISIS VERIFICADOS EN EL SALVADOR

Gas, condensado y agua tomados el mismo día:

POZO: P A 1

7	25/6	30/6	28/7	11/8	19/8
GASES (vol.%)					
CO <sub>2</sub>	50	66	40	37	30
O <sub>2</sub>	5	1	4	2	3
CO	0	0	0	0	0
SH <sub>2</sub>	35	31	35	35	55

CONDENSADOS

PH	4.82	5.53	5.20	4.1	5.3
SO <sub>4</sub> -mgm/l	11.0	40.0	47.5	8.5	54.0
Cl-mgm/l	31.9	14.18	28.3	14.18	21.2

AGUAS

PH	4.14	3.75	3.85	4.2	4.5
SO <sub>4</sub> -mgm/l	300.0	525.0	502.0	280.0	337.0
Cl-mgm/l	35.4	28.3	28.3	28.3	35.4

	25/6	30/6	22/7	28/7	12/8
GASES (vd %)					
CO2	68	69	65	45	45
O2	2	1	1	3	4
CO	0	0	0	0	0
SH2	28	28	30	30	28

CONDENSADOS

PH	4.85	5.31	4.37	4.5	3.47
SO4-mgm/l	15.0	3.0	26.0	41.0	35.0
Cl-mgm/l	14.18	14.18	14.18	21.2	14.18

AGUAS

Ph	3.1	2.91	4.45	3.7	2.85
SO4-mgm/l	70.0	90.5	87.0	74.0	113.0
Cl- mgm/l	85.1	42.5	99.2	70.9	70.9

POZO: A S III

	25/6	15/7	23/7	28/7	13/8
GASES					
CO2	48	42	44	60	51
O2	1	1	2	1	.5
CO	0	0	0	0	0
SH2	50	33	50	35	48
CONDENSADOS					
PH	5.11	4.56	4.09	4.65	5.05
SO4- mgm/l	11.5	14.0	8.0	45.0	27.0
CL- mgm/l	7.09	14.18	28.3	21.2	21.2

AGUAS					
PH	3.4	1.88	2.93	3.0	2.51
SO4- mgm/l	37.5	99.0	74.0	63.0	77.0
CL- mgm/l	28.3	28.3	42.5	42.5	35.4

CONDENSADOS

	Ph	SO4	Cl	MA <sup>o</sup>	PA	CO2 libre	CO2 fl.j.	CO2 agr.	CAO	MGO	CH	NH3
PA 1.-25/6	4.82	11.0	31.9	.56	-	136.4	4.4	104.1	0	.2016	.028	6.8
30/6	5.53	40.0	14.18	.84	-	171.6	6.6	114.0	0	.4032	.056	10.2
28/7	5.20	47.5	28.3	.56	-	44.0	4.4	41.4	0	.2016	.028	6.8
11/8	4.1	8.5	14.18	.56	-	66.0	4.4	59.3	0	.2016	.028	6.8
19/8	5.3	54.0	21.2	.56	-	44.-	4.4	41.4	0	.4032	.056	6.8
PA 2.-25/6	4.85	15.0	14.18	.28	-	103.0	2.2	85.6	0	.4032	.056	3.4
30/6	5.31	3.0	14.18	.42	-	110.0	3.3	90.0	.140	.3024	.056	5.1
22/7	4.37	26.0	14.18	.56	-	105.6	4.4	86.5	.140	.1008	.028	6.8
28/7	4.5	41.0	21.2	.42	-	96.8	3.3	81.3	0	.2016	.028	5.1
12/8	3.47	35.0	14.18	.28	-	101.2	2.2	84.4	0	.2016	.028	3.4
AS III-25/6	5.11	11.5	7.09	.56	-	158.4	4.4	115.1	.2842	.2016	.056	6.8
15/7	4.56	14.0	14.18	.56	-	46.20	4.4	43.5	0	.1008	.0141	6.8
23/7	4.06	8.0	28.3	.70	-	140.8	5.5	105.8	0	.0	0	8.5
28/7	4.65	45.0	21.2	.56	-	110.0	4.4	89.1	.140	.1008	.028	6.8
13/8	5.05	27.0	21.2	.56	-	66.0	4.4	59.2	0	0	0	6.8

ANALISIS DE CONDENSADOS PROCEDENTES DE OTROS PAISES.-

Pozo # 3, Pathé, Hgo, México.- Los datos están dados en CO3Ca ppm.

fecha	Ph	Cond. esp.	So4 Cl	Cl	Mg	Ca	Na	CO3H	CO3	OH	NO3	SH2	Gh	d.no CO3	d.de CO3	alcal. Fenc.lf.	alcal. N.M.	CO2 libre	S102	Sólidos disueltos
1/2	9.3	-	69	144	48	36	590	39	196	0	0	15.2	84	0	84	98	235	0	142.5	1.2000.0
27/3	5.6	124	0	16	0	4	62.54	44	0	0	0	32	4	0	4	0	44	8.1	.2	66.87
28/3	6.0	190	17.50	10	5	17	139.2	56	0	0	0	13.9	27	0	22	0	56	74	18.2	191.62

NUEVA ZELANDIA ( P.p.m.)

	pH	SO4	Cl-	Ca	Mg	Na	Li	NH3	F	CO3H	S102	BO2H	ASO2H	SH2	CO2	K
a)	-	55	2000	12	1	1300	12	1	10	40	400	110	6	1	1	230
b)	8.5	55	1927	26	1	1130	12.2	.9	-	35	-	-	-	.95	16	146
c)	6.7	11	2.7	12	1.7	230	1.2	.24	-	370	-	-	-	0	670	17

## BIBLIOGRAFIA

- ANDA, L.F. de 1956.- "El Campo de Energía Geotérmica en Pathé, estado de Hidalgo".- Congreso Geológico Internacional.- XX Sesión, México, 1956.
- BODVARSSON, G. 1956.- "Natural Heat in Iceland".- Fñnte Weltkaftkonferenz Wiwn, Abt.K Berich 197 k/8.-
- CLARK, F.W. 1908.- "The Data of Geochemistry".- Government Printing Office.- Washington.-
- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD 1958.- Datos químicos sobre análisis de Gases y Condensados procedentes de Pathé. Hgo., México.-
- CENDRERO, O. 1953.- Curso Elemental de Historia Natural.- Geología.- Imprenta López, Perú 666, Buenos Aires, Argentina.
- DURR, F. y STOBBER, G. 1956.- "Nota sobre Mediciones Magnéticas en los Ausoles de Ahuachapán" Anales del Servicio Geológico Nacional de El Salvador.- Boletín #2.-
- DURR, F. 1957.- "Cuadro Geológico de El Salvador".- Servicio Geológico Nacional de El Salvador.- 1957
- DURR, F. 1958.- "Investigaciones Geotérmicas.- Informe Levantamiento Gasométrico #1". Informe Interno del S.G.N. de El Salvador.- Junio 4 de 1958.-
- DURR, F. 1958.- "Investigaciones Geotérmicas.- Mediciones de Presión # 1". Informe Interno del S.G.N. de El Salvador.- Julio 22 de 1958.-
- GRANGE, L.I. 1955.- "Geothermal Steam for Power in New Zealand".- Department of Cientific and Indus - trial Research.- Bulletin 117.- New Zealand.-

- GREBE, W.H. 1956.- "Las Fumarolas y Fuentes Termales en las Montañas Volcánicas de Mayor Edad en El Salvador".- Anales del S.G.N. de El Salvador.- Boletín # 2.-
- HALL, W.T. 1949.- "Química Analítica".- II Tomo.- Análisis Cuantitativo.- UTEHA.- México.-
- HALDANE, T.G.N. et alías.- 1958.- "The Development of Geothermal Power Generation".- World Power Conference.- Montreal.- Section C, Paper 21, C/1.
- HOLMES, A. 1951.- Geología Física.- Traducción de la 8 Edición Inglesa - 1951-por Rafael Candel Vila y Joaquín Comas de Candel.- Ediciones Omega, S.A.- Barcelona.-
- MCBIRNEY, A.R. 1955.- "Aspecto Químico de la Actividad de Fumarolas en Nicaragua y El Salvador".- Comunicaciones del Instituto Tropical de Investigaciones Científicas de El Salvador.- Nos. 3 y 4.-
- MCBIRNEY, A.R. 1956.- "An Appraisal of the Fumarolic Activity near Ahuachapán, El Salvador.- Boletín # 2.- Anales del S.G.N. de El Salvador.-
- MAZZONI, A. 1954.- "The Steam Vents of Tuscany and the Larderello Plant".- Arti Grafiche. Bologna.
- MERZ AND MCLELLEN 1957.- "Informe Preliminar sobre Energía Geotérmica".- Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.- Octubre, 1957.-
- MEYER-ABICH, H. 1953.- "Los Ausoles de El Salvador, con un Sumario Geológico Tectónico de la Zona Volcánica Occidental".- Comunicaciones del Instituto Tropical de Investigaciones Científicas.- El Salvador.- Nos. 3 y 4.- Año 2.- Mayo de 1953.-

- OGIER, J. 1885.- "Encyclopedie Chimique.- Tomo IV.- Analyse des Gaz",- V<sup>ve</sup> Ch. Dumond.- Editeur.- Parfs.-
- PENTA, F. y PEROZZI, A. 1953.- "Dictamen sobre el Valor Industrial de las Manifestaciones Fumarólicas y Exhalativas Volcánicas en General de la Región Salvadoreña".- Informe presentado al Misnisterio de Economía.- 1953.-
- RANKAMA, K. y SAHAMA, TH.G. 1954.- "Geoquímica".- Aguilar, S.A. de Ediciones, Madrid.
- RENSON C. y PUENTE, J. 1888.- "Informe sobre la Expedición Científica a los Ausoles de Ahuachapán".- Reproducción en Diccionario Histórico - Enciclopédico de Miguel A. García.- Tomo III.- Pag. 73.- 1929.-
- STEHN, CH.E. 1927.- "Probebohrungen zur Gewinnung Vulkanischer Energie in Niederlandisch Indien".- Zeitsch, f.vulkanologie, XI, Heft 1 Berlin, 1927.-
- TREADWELL, F.P. 1947.- "Tratado de Química Analítica" Editora Nacional, S.A.- México, D.F.-
- VALIENTE M, N. 1959.- "Aspectos Químicos de las Manifestaciones Geotermales de la Región de Ahuachapán, El Salvador".- Tesis doctoral.- Mayo de 1959.-
- YOSHIOKA, T. 1956.- The Trend of Investigacion on Electric Power Generation by Subte - ranean Steam in Japan".- Fünfte Weltkraftkonferenz.- Wien.- Abt.K, Bericht 22 K/I.-

fin