

8.
2 ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“RADON COMO SEÑAL PARA
DETERMINAR FUENTES GEOTERMICAS”

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO GEOLOGO
P R E S E N T A :
DINORA GONZALEZ TERAN

DIRECTOR: DR. EDUARDO GONZALEZ PARTIDA
DIRECTOR ADJUNTO: DR. MIGUEL BALCAZAR GARCIA



MEXICO, D. F.

FALLA DE ORIGEN

1991



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

I. - GENERALIDADES	Pag.
1.1. Objetivo del Trabajo	1
1.2. Descripción General de un Sistema Geotérmico.	1
1.3. Ventajas de la Existencia de un Sistema Geotérmico	2
1.4. Evaluación de un Sistema Geotérmico	4
II.- GENERALIDADES DEL RADÓN	Pag.
2.1.- Consideraciones Generales	6
2.1.1. Radiactividad	7
2.1.2. Familias radiactivas	8
2.1.3. Cadenas de decaimiento	8
2.2. Propiedades Físicas y Químicas del Radón	10
2.3. El Radón como Elemento Radiactivo	12
2.4. Evidencias de la Actividad del Radón	13
III.- METODOLOGIA DE TRABAJO	Pag.
3.1. Criterios de Selección del Area de Muestreo en el Campo Geotérmico de "Los Azufres" Michoacán	17
3.2. Muestreos en el Campo Geotérmico de "Los Azufres"	19
3.3. Técnicas de Trabajo en el Laboratorio	20
3.4. La Temperatura como Factor Activo	22
3.4.1. Comportamiento de detector plástico sometido a diferentes temperatura	23
3.5. Contenido de Uranio en Minerales	25
3.6. Análisis del Contenido de Uranio en las Muestras de Roca Colectadas	28
IV.- APLICACION DEL METODO A UN CAMPO GEOTERMICO	Pag.
4.1. Localización	30
4.2. Fisiografía	32
4.3. Geología Regional del Campo Geotérmico de "Los Azufres" Michoacan	33
4.4. Geología Local del Campo Geotérmico "Los Azufres" Michoacan	35
4.4.1. Estratigrafía local	38
4.5. Geología Estructural	39
4.5.1. Sistemas de fallamiento	41
4.6. Marco Tectónico	43
4.7. Geofísica	45
4.8. Geometría del Yacimiento de "Los Azufres" Michoacán	46
4.8.1. Aspecto geotérmico general del yacimiento de "Los Azufres" Michoacán	47
4.9. Evaluación y Relación del Mapeo de Radón con las Características del Campo en Estudio	47
V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFIA	

Mi agradecimiento sincero a las siguientes personas que contribuyeron a la realización de este trabajo:

Al Dr. Miguel Balcazar Garcia, por su acertada dirección, valioso tiempo en la revisión del presente trabajo y por su sincera amistad

Al Dr. Eduardo González Partida por su dirección y tiempo

Al Ing. Carlos Miranda M., Rubén Ostos V., Hector Pérez E. por su valiosa colaboración y apoyo en la realización del presente trabajo.

Al José A. Gómez Cabrera por su valioso apoyo y confianza.

Al Ing. Armando Macias Campos y al Ing. Victor Tomás Pérez por su incalculable ayuda para la escritura del presente trabajo y por su bella amistad

A Juan José y Alejandro Torres Alejandro Estrada y el Sr. Jorge Palacios por su gran ayuda en trabajos de laboratorio

Al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares por las facilidades brindadas

Y a todas aquellas personas que compartieron conmigo la realización de este trabajo

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1.-Objetivo del Trabajo

El objetivo de este trabajo es establecer una relación, entre muestras de radón en áreas de un potencial geotérmico comprobado. Relaciones de este tipo permitirían establecer un modelo entre la emanación de radón y los fluidos geotérmicos de alta calidad en zonas productoras.

Las revisiones y trabajos previos de geología del área en estudio, permite establecer las características propias de una región potencialmente geotérmica, aunado a la relación que existe del comportamiento del gas radón con las características petrofísicas como la composición mineralógica, textura, porosidad, y permeabilidad de la roca que conforma la zona seleccionada.

1.2.-Descripción General de un Sistema Geotérmico

La Geotermia es una disciplina encargada de aprovechar el calor interno de la Tierra, en sus diferentes manifestaciones con el fin de producir energía eléctrica.

La energía geotérmica es causada por procesos volcánicos y tectónicos siendo la teoría más aceptada sobre su ocurrencia la que establece que cuerpos magmáticos que no afloran en la superficie y que quedan emplazadas a pocos kilómetros de la misma, liberan energía hacia el medio circundante (roca y agua), en donde a través de miles de años y mediante procesos convectivos se forman grandes yacimientos de agua y vapor, originando este proceso gradientes térmicos de 30° C por

kilómetro de profundidad y en algunas casos hasta de 200° C.

Existen regiones denominadas hipertermales que están asociadas a placas tectónicas y regiones volcánicas, donde los gradientes geotérmicos son aproximadamente de 80° C por kilómetro y regiones semitermales con gradientes entre 40 y 80° C por kilómetro, los yacimientos geotérmicos normalmente se encuentran formados por agua presurizada y pequeñas cantidades de vapor a temperaturas mayores a los 100 °C.

El calor atrapado en los yacimientos hipertermales y semitermales pueden ser usados para la producción de energía eléctrica, si las perforaciones a través de los diferentes materiales que cubren el yacimiento productivo son lo suficientemente profundas, para extraer el vapor del yacimiento.

1.3.- Ventajas de la Existencia de un Campo Geotérmico

De la gran variedad de fuentes geotérmicas, los yacimientos hidrotermales son los únicos que comúnmente se explotan para la producción de energía eléctrica. Un sistema hidrotermal es un sistema geológico compuesto por una cámara magmática relativamente superficial, a menos de 10 Km de profundidad más agua y calor, ambos componentes, tanto el agua como el calor son los principales elementos de este tipo de sistemas el cual es limitado lateralmente, por rocas de baja permeabilidad y en la parte superior por paquetes de roca no permeables con zonas de flujo vertical (Arellano,1985) (FIGURA 1).

La pronta evaluación de un yacimiento geotérmico seleccionado para la explotación constituye un problema, con una complejidad intrínseca en este tipo de sistemas. Las decisiones críticas financieras basadas en

la evaluación del yacimiento pueden realizarse, especialmente durante el estado inicial de desarrollo. De ésta forma, es extremadamente importante obtener un modelo conceptual del sistema, tan pronto como sea posible y complementar y modificar las nuevas evidencias o datos ya establecidos.

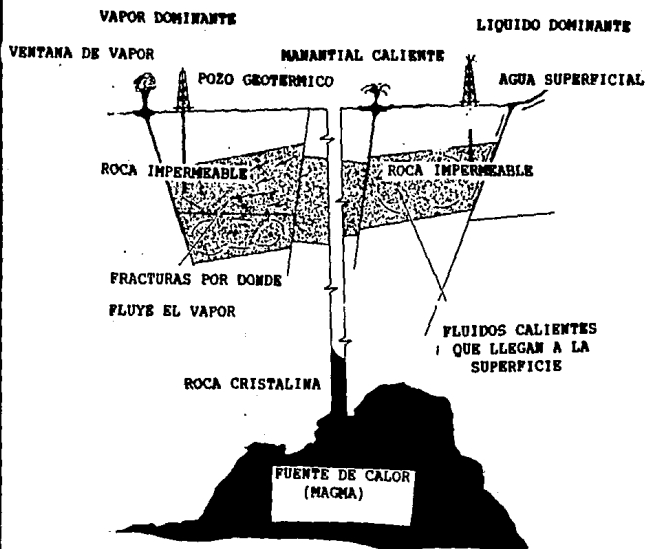


FIGURA 1.- Diagrama de un Sistema Geotérmico. La presencia de una fuente de calor genera el calentamiento de fluidos subterráneos, que fluyen a la superficie de la Tierra a través de fracturas y perforaciones de pozos.

1.4.- Evaluación de un Sistema Geotérmico

Con el objeto de evaluar la energía almacenada, el modelo debe definir en forma general:

- a) Geometría y características del yacimiento.
- b) Distribución de temperaturas y capacidad de calor por unidad de masa de la roca almacenadora.
- c) Estimación de la masa del fluido atrapado
- d) Porosidad
- e) Volúmen específico del fluido.

El modelo inicial debe contar también con evidencias químicas e isotópicas características de fluidos producidos durante la perforación, indicando la presencia de mezclas de más de un fluido lo cual indica la existencia de más de una área de recarga.

Para estimar la fracción de energía que puede ser extraída del yacimiento y del rango óptimo de extracción, al modelo conceptual se debe adicionar información como la distribución de fracturas, matriz permeable y gases no condensables (Nieva,1987).

Es por ello que una buena comprensión de la energía geotérmica, llevará a un mejor aprovechamiento de los recursos naturales del subsuelo, beneficiando el desarrollo del país en esta área. Es necesario desarrollar nuevos métodos y complementar los existentes que permitan detectar y evaluar zonas de gran interés y alta posibilidad para la obtención de fluidos generadores de energía eléctrica en grandes cantidades.

Por todo lo que la energía geotérmica ha representado y representa para el desarrollo de la humanidad, se han creado técnicas enfocadas a

la prospección geotérmica; cada una de ellas con sus características y riesgos propios. Es entonces dentro de éstas técnicas donde nace la inquietud de buscar una manera de llevar a cabo una prospección de bajo costo y fácil manejo. El análisis de la emanación de un gas radiactivo como lo es el radón en un campo geotérmico puede contribuir como señal adicional para localizar fuentes geotérmicas.

CAPITULO 2

GENERALIDADES DEL RADON

La corteza terrestre se encuentra constituida en grandes porcentajes por rocas graníticas, basálticas y peridotíticas, conteniendo éstas núcleos radiactivos, principalmente de uranio, torio y potasio. Como se sabe, el granito, como principal componente de la corteza, es relativamente rico en ^{238}U Uranio. Este isótopo de larga vida media al emitir una partícula, llamada alfa, da origen a una cadena de núcleos radiactivos, entre los que se encuentra el Gas ^{222}Rn Radón, que al emanar del subsuelo se difunde hacia la superficie.

Considerando un contenido uniforme de uranio en algún campo geotérmico, cualquier variación en la concentración de radón en la superficie es debido a su grado de difusión. Este puede incrementarse en zonas de falla y/o fracturas (Balcazar, 1989).

En la práctica, esta relación no es tan fácil, presentándose dificultades como diferencias en los componentes sólidos, procesos termodinámicos en diferente lugares y diferentes tiempos, cambios en la presión atmosférica y variaciones de temperatura.

2.1.- Consideraciones Generales

En 1932 Heisemberg, estableció que los núcleos atómicos están constituidos por dos tipos de partículas llamados nucleones (protones de carga eléctrica positiva y masa de 1.0075 u.m.a. y neutrones, sin carga eléctrica alguna y masa de 1.00898 u.m.a.). La masa nuclear total es igual a la suma de las masas de protones y neutrones y la carga neta

igual a la carga total de los protones.

El núcleo se caracteriza por el llamado número atómico que representa al número total de protones.

Si la masa A de dos núcleos es diferente, pero tiene la misma carga, entonces uno de los nucleones contiene un número de neutrones superior al otro, y se denominan isótopos del mismo elemento. Estos tienen propiedades físicas diferentes pero propiedades químicas idénticas.

Para un valor determinado de protones (z), existe un límite superior e inferior en el número de neutrones, donde se encuentran los nucleones estables, si éstos tienen un número de neutrones fuera de los límites de estabilidad definidos para cada z , los núcleos son inestables y tenderán a estabilizarse por decaimiento nuclear. Este fenómeno es conocido como radiactividad, y los nucleones que lo poseen, se les denomina radiactivos.

2.1.1.- Radiactividad.

Es considerada como un proceso de transformación de un nucleon radiactivo a otro denominado producto de decaimiento, acompañado por la emisión de radiación α, β, γ , debida al cambio espontáneo de los nucleones radiactivos.

Se ha establecido que en cada elemento radiactivo, el número de desintegraciones que se ocurren por unidad de tiempo (actividad) es variable, cuanto mayor sea esta actividad, mayor es la radiactividad del elemento.

Aunque la desintegración del núcleo es un proceso espontáneo y abarca períodos desde fracciones de segundos hasta millones de años. La radiactividad de un elemento no es afectada por procesos químicos o

fisicoquímicos, cambios en la presión, volùmen, temperatura, estado de agresión o combinaci3n químic (Martínez,1982).

2.1.2.- Familias radiactivas

Cuando un elemento radiactivo origina una serie sucesiva de desintegraci3n, se dice que constituye una familia radiactiva. Existen cuatro familias radiactivas importantes: La del ^{238}U , Actinid^o o ^{235}U Uranio, ^{232}Th Torio y ^{237}Np Neptunio.

Las tres primeras se encuentran en la naturaleza entre los minerales de Uranio y Torio conocidos. Para estas tres familias, las desintegraciones alfa y beta son los principales procesos de decaimiento, como se muestra en la (FIGURA 2).

La emisi3n de partículas es el único medio de modificar el peso at3mico; los miembros de una familia radiactiva tendrán todos los pesos at3micos posibles iguales al elemento tipo de la familia, menos un múltiplo de cuatro. Por esto las familias del ^{238}U , ^{235}U y ^{232}Th , han sido consideradas del tipo: $4n+1$, $4n+2$, $4n$ respectivamente. Las tres familias radiactivas originan siempre plomo como producto final de desintegraci3n siendo estos: ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb los is3topos generados a partir de ^{238}U , ^{235}U y ^{232}Th (FIGURA 2).

2.1.3.- Cadenas de decaimiento

Los elementos radiactivos al transformarse, pueden decaer mediante diferentes modos de desintegraci3n, tales como:

a) Desintegraci3n Alfa.- Proceso por el cual, el nùcleo padre, emite una partícula alfa, lo que implica que el nùcleo radiactivo pierde dos

protones y dos neutrones, decreciendo el valor de la masa atómica en cuatro unidades y su carga en dos.

Estas partículas alfa constituidas por 2 protones y 2 neutrones, forma nucleones de ${}^4\text{He}$. Este decaimiento es común en elementos con números atómicos mayores a 82.

b) Desintegración Beta: Transformación en la que el núcleo radiactivo emite partículas denominadas partículas beta con una masa igual a la de los electrones y una unidad elemental de carga. La carga puede ser positiva o negativa.

Las partículas beta tienen un poder de ionización menor que el de las partículas alfa, siendo, aproximadamente 1000 veces más penetrantes que las partículas alfa.

c) Desintegración por captura electrónica: Proceso nuclear de captura de electrones orbitales. Ocurre si el núcleo tiene un exceso de protones. La captura del electrón transforma un protón en un neutrón.

d) Desintegración por conversión interna.- Se efectúa cuando el núcleo excitado emite radiación gama, transmitiendo su energía a un electrón (preferentemente de las orbitas internas), y expulsándolo del átomo con una energía cinética.

e) Desintegración por fisión espontánea.- Proceso que consiste en la escisión espontánea del núcleo en dos fragmentos, teniendo éstos un exceso de neutrones, que son emitidos directamente. La fisión de un núcleo no es proceso simétrico, en general los dos fragmentos tienen

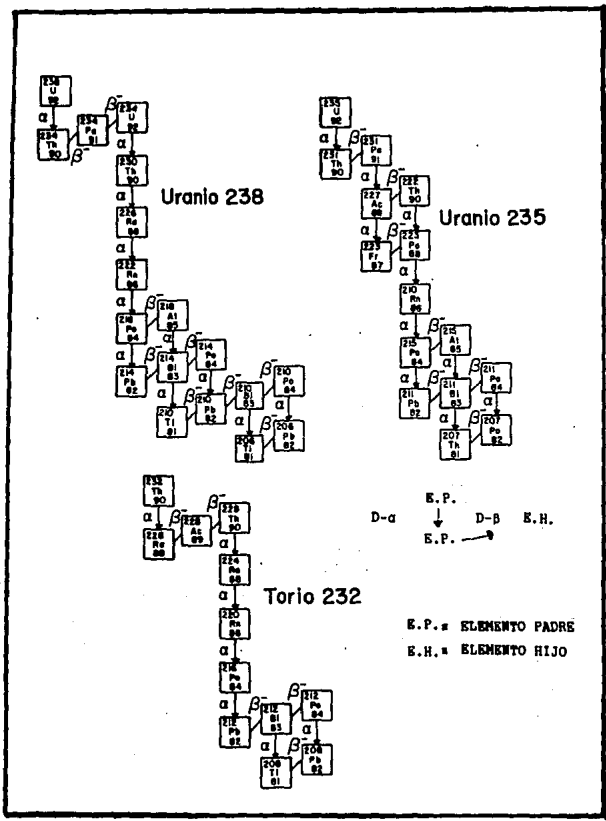


FIGURA 2.- Familias Radiactivas de ²³⁸U, ²³⁵U y ²³²Th

números másicos desiguales (Martínez, op. cit.).

2.2.- Propiedades Físicas y Químicas del Radón

El gas radón descubierto por F. E. Dor, en 1900 (Gessner, 1975), es un gas incoloro, con densidad de 9.72 g/lit a (0°C), se localiza en el grupo cero de la tabla periódica. Algunas de sus propiedades se enlistan a continuación:

SÍMBOLO: Rn	NUMERO ATOMICO: 86
PESO ATOMICO: 222.02	VALENCIA: 2,4
P. EBULLICION; 65 xC	P. DE FUSION: -71xC y -113 °C

Es producido como gas emanado del decaimiento radiactivo del ^{224}Ra dentro de la cadena de decaimiento del ^{238}U por emisiones energéticas de partículas alfa. Este gas es el más pesado de los gases inertes.

El uranio y torio son atrapados en los minerales por un proceso natural de formación que da origen a las rocas y los minerales que lo contiene.

La atmósfera cercana a la superficie contiene el radón que se separa de los sólidos o rocas, donde se encuentran pequeñas tazas de ^{222}Rn .

El radón natural consiste de 3 isótopos, cada uno proveniente de las series de desintegración radiactiva del ^{238}U Uranio, ^{232}Th Torio y ^{235}U Actinio. El isótopo de mayor larga vida media es el ^{222}Rn radón asociado a la Serie del ^{238}U Uranio. Para los otros isótopos se les nombra Toron ^{220}Rn y Actinon ^{219}Rn provenientes de la serie del torio y el actinio respectivamente (Mc. Graw Hill, 1980).

Los átomos del radón poseen una configuración electrónica particularmente estable de 8 electrones en su última órbita, lo que le otorga la característica de inactividad química, sin embargo el radón no es completamente inerte desde el punto de vista químico, es considerado como un "metaloide" por su ubicación en la diagonal de la tabla periódica, entre los verdaderos metales y los no metales, mostrando características de ambos. Químicamente el radón reacciona con fluoruros, sales dioxigenales, sales de fluoruro de nitrógeno y metales complejos de fluoruro, dando origen a la formación de compuestos iónicos.

En estado iónico, el radón es susceptible de sustituir iones de H^+ , Na^+ , K^+ , Cs^+ , Ce^+ y Ba^{2+} (Lawrence, 1985).

El radón es absorbido en el carbón, sílica-gel y otras absorbentes, usándose esta propiedad para separar el elemento de gases impuros, pero también puede ser desabsorbido del carbón calentándose a 350°C.

Las muestras de radón pueden ser analizadas por conteo directo de partículas alfa (α) en polímeros de nitratos de celulosa, donde los daños o trazas producidos por incidencia de estas partículas son contadas con la ayuda de un contador electrónico de trazas.

La concentración de uranio y torio en rocas cercanas a la superficie terrestre producen aproximadamente en la atmósfera 1 (pCi)* de radón radiactivo por litro (1pCi = 10^{-12} curie) equivalente a 2.22 desintegraciones por minuto. Esto puede ser calculado con la ecuación:

$$dN/dt = -\lambda N$$

donde : λ = Constante de decaimiento
 dN/dt = Relación de el número de átomos desintegrados en función del tiempo.
 N = Número de átomos excitados.

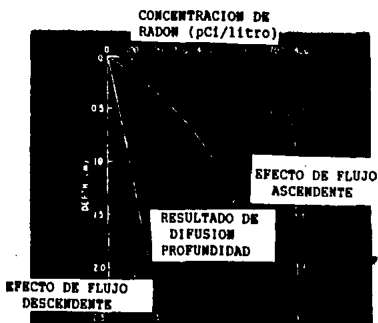


FIGURA 3.- Comportamiento de la Concentración del Gas Radón en función de la profundidad. (Fleischer.R.)

Siendo la constante de decaimiento para el radón igual a 0.0075 por hr^{-1} .

*1 Curie se define como: $1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ desintegraciones x segundo

Como se muestra en la FIGURA 3 la concentración de flujos ascendentes de radón en relación con la profundidad establece que, para flujos ascendentes, el radón disminuye hacia la superficie a partir de los 0.5 metros de profundidad y a partir de esta profundidad hasta aproximadamente 2.5 metros se incrementa hasta adquirir valores constantes. Para flujos descendentes la concentración de radón se incrementa en forma lineal desde una profundidad cero hasta los 2.5 metros. Los resultados obtenidos para la evaluación de la difusión del radón indican existe una variación en cuanto a la cantidad de radón contenida en el subsuelo en función a la profundidad (Fleischer, 1986).

2.3.- El Radón como Elemento Radiactivo

Si un núcleo radiactivo se genera de otro también radiactivo (precursor) de vida media larga, su actividad es constante con un valor aproximado a la actividad del precursor. El ^{222}Rn cumple con esta propiedad y se dice que esta radiactivamente en equilibrio con su precursor ^{226}Ra .

La vida media se calcula con la ecuación

$$T = \frac{0.693}{\lambda}$$
$$T = \left(\frac{1}{0.0075 \text{ hr}} \right) 0.693 = 92 \text{ hr} = 3.82 \text{ días}$$

Donde la vida media es considerada como "El intervalo de tiempo

durante el cual el número de núcleos radiactivos presentes disminuye a la mitad."

Considerando que el radón tiene un peso atómico de 222g/mole y 6.02×10^{23} átomos/mol tenemos que 100 pCi de radón son igual a 1.76×10^6 átomos (Schery, 1986).

El ^{238}U tiene una vida media de 4500 millones de años (aproximadamente igual a la edad de la tierra), y genera 13 radioisótopos como productos de decaimiento en una serie radiactiva.

El ^{238}U se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y en una porción baja en areniscas sólidas y arenas. Los valores típicos de uranio en la corteza varían entre 1 y 4 p.p.m. considerándose que existen aproximadamente 30 Toneladas de uranio y 10 gramos de ^{226}Ra en un volumen que tenga un área de una milla², y una profundidad de 1.5 m. Por cada m² de roca o sólido se estiman aproximadamente 2 mCi de Radio. Este Radio se transforma en ^{222}Rn como producto hijo y mantiene este radón una actividad constante de aproximadamente 2 mCi por m² de roca.

2.4.- Evidencias de la Actividad del Radón

Como se ha mencionado anteriormente el gas radón puede ser detectado a través de las trazas, que producen las partículas alfa de su decaimiento radiactivo, en un plástico detector de nitrato de celulosa tipo LR-115.

Así, la difusión del radón del subsuelo hacia la superficie puede ser evaluada por la cuantificación de las trazas registradas en detectores plásticos. Los detectores plásticos son sometidos a un grabado químico, en el cual el dieléctrico irradiado es colocado en el

seno de una solución química de naturaleza y concentración definida; se fijando parámetros tales como tiempo de grabado y temperatura. El grabado químico corroe a la superficie del dieléctrico a una velocidad denominada V_a , simultáneamente ataca las trazas o los daños latentes a una velocidad V_e . Siendo V_e mayor que V_a , la convención para que el grabado revele los daños latentes como trazas. (Avendaño, 1981). Ciertas características geométricas dependen de la velocidad de ataque de la partícula sobre el detector, originando la traza o el daño a la película detectora. Esta geometría está dictada por la acción simultánea de la acción de dos procesos de grabado (Fleischer, 1975).

PROCESOS DE GRABADO

El proceso de grabado crea un cono cuyo eje se encuentra en la trayectoria original de la partícula.

El diámetro de la traza D y su longitud l son el resultado de la acción simultánea de las velocidades de grabado, V_e y V_a anteriormente mencionadas (FIGURA 4a)

Si la partícula incide al detector en un ángulo diferente a 90° ; entonces la intersección del cono de la traza con la superficie de ataque, da como resultado una elipse, como se aprecia en la FIGURA 4b.

Por lo tanto, el ángulo de incidencia de la partícula sobre el detector determinará la apariencia geométrica de la traza en forma circular o elipsoidal.

El número de trazas en un detector expuesto a una atmósfera de radón, se incrementa con el tiempo de grabado por las siguientes razones:

a) Las regiones del detector más dañadas por la partícula producen trazas latentes que son originalmente imperceptibles; éstas son

agrandadas durante un periodo inicial de grabado, quedando aún trazas latentes en el detector sin revelar.

b) El revelado de trazas a pequeños ángulos de insidencia y daños ocasionados por diferentes energías de partículas α , influyen en la magnitud de las trazas, ocasionando una distribución de las trazas en el plástico detector, esto ocasiona que la densidad de trazas reveladas varíe en función del tiempo de grabado, como se aprecia en la FIGURA 4c.

La FIGURA 5 representa dos casos contrastantes de partículas incidiendo a 90° : La pérdida de energía es muy grande en la superficie del detector (1) y la pérdida de energía es pequeña (3). En el caso (1) el número de radicales libres formados es mayor que en el caso (3) teniendo una velocidad V_e (1) mayor a V_e (3) para tiempos de grabado t_1 y t_2 . Las trazas 2 y 4 corresponden a los mismos casos pero la partícula incide a un ángulo con respecto a la superficie. Es de hacerce notar que en la traza 4 se cumple que $V_e = V_e$ para t_1 y por consiguiente no existe formación de cono.

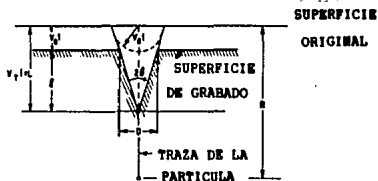
Por tanto para que el grabado sea eficiente se debe considerar el tipo de partícula que se desea detectar, el rango de energía y su ángulo de incidencia.

Con el incremento en el ángulo de incidencia i , la eficiencia de grabado es reducida, por que sólo una pequeña fracción de las traza totales es revelada.

La eficiencia de grabado esta definida por:

$$\eta = \frac{\text{Núm. trazas reveladas en la superficie.}}{\text{Núm. de trazas que intercedan a la superficie.}}$$

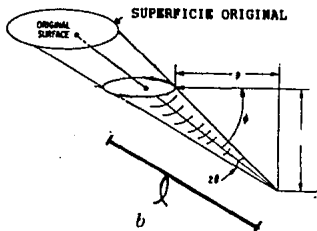
INCIDENCIA DE LA PARTICULA α EN UN ANGULO DE 90°



a

FIGURA 4a.- Geometría de una traza con V_p y V_g constante. Donde V_g (Velocidad de Grabado en todo el detector), V_p (Velocidad de grabado a lo largo de la traza), D (Diámetro de la traza), R (Alcance), l (Longitud de la traza), L (Longitud Total). (Fleischer, 1975)

INCIDENCIA DE LA PARTICULA α EN UN ANGULO DIFERENTE DE 90°



b

FIGURA 4b.- Geometría de una traza con V_p y V_g constante. Donde l (Longitud de la traza), p (Proyección Horizontal de la longitud de la traza), ϕ (Angulo de incidencia de la Particula diferente de 90°), R (Alcance) (Fleischer, 1975)

UBA: Campo Geotermico "Los Azules"

SITIO: Fozo 9 y 16

Identificación del Detector	Fecha de Instalación	Fecha de Salida de	Estado físico de la Superficie del Detector				
			Gotas de Agua	Logo	roivo	Extraviado	Defectuoso
A2 1-1-18	2005/01/11	2005/01/11/09	/	X	X	X	X
A2 2-1-18	2005/01/11	2005/01/11/15	X	X	X	X	X
A2 3-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	X	X	X	X	X
A2 4-1-18					EXTRAVIADO		
A2 5-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	X	X	X	X	X
A2 6-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	X	X	X	X	X
A2 7-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	X	X	X	X	X
A2 8-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	/	X	X	X	X
A2 9-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	/	X	/	X	X
A2 10-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	X	X	/	X	X
A2 11-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	X	X	/	X	X
A2 12-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	/	X	X	X	X
A2 13-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	/	X	X	X	X
A2 14-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	/	X	X	X	X
A2 15-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	/	X	X	X	X
A2 16-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	/	X	X	X	X
A2 17-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	/	X	X	X	X
A2 18-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	/	X	X	X	X
A2 19-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	/	X	X	X	X
A2 20-1-18	2005/01/11	2005/01/11/01	/	X	X	X	X

Los Azules

del detector

X= no presenta

/= si presenta

TABLA 4

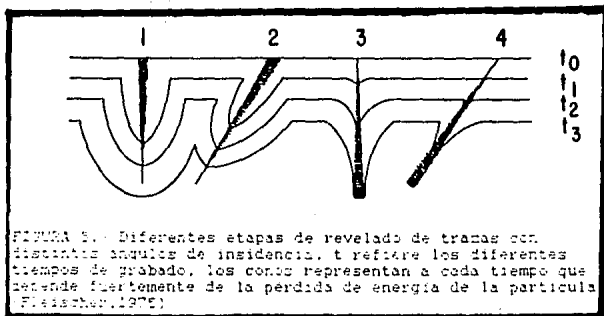


FIGURA 5. - Diferentes etapas de revelado de tramas con distintos ángulos de incidencia. t refiere los diferentes tiempos de grabado. los conos representan a cada tiempo que sucede fuertemente de la pérdida de energía de la partícula (Fleischer, 1975)

LEGAL: Campo Geotérmico "Los Azules"

REGISTRO DE GAS KADUS

SITIO: Pozo 1 y 1A

Clasificación del Detector	Fecha de Entrada/ hr	Fecha de Salida/ hr	Estado Físico de la Superficie del detector					
			Gotas de Agua	Lodo	Pulvo	Extrañado	Detenido	
Az-9-1-IV	2003/07/ 11:31	2003/07/ 11:50	/	X	X	X	X	X
Az-9-2-IV	2003/07/ 11:34	2003/07/ 11:53	X	X	X	X	X	X
Az-9-3-IV	2003/07/ 11:45	2003/07/ 11:55	X	X	X	X	X	X
Az-9-4-IV					EXTRAÑADO			
Az-9-5-IV	2003/07/ 11:46	2003/07/ 11:59	X	X	X	X	X	X
Az-9-6-IV	2003/07/ 11:51	2003/07/ 11:20	X	X	X	X	X	X
Az-9-7-IV	2003/07/ 11:52	2003/07/ 11:21	X	X	X	X	X	X
Az-9-8-IV	2003/07/ 12:06	2003/07/ 12:30	X	X	X	X	X	X
Az-16-1-IV	2003/07/ 12:56	2003/07/ 12:53	/	X	X	X	X	X
Az-16-2-IV	2003/07/ 12:50	2003/07/ 12:50	/	X	/	X	X	X
Az-16-3-IV	2003/07/ 13:19	2003/07/ 13:10	X	X	/	X	X	X
Az-16-4-IV	2003/07/ 13:11	2003/07/ 13:25	X	X	X	X	X	X
Az-16-5-IV	2003/07/ 13:41	2003/07/ 13:50	X	X	/	X	X	X
Az-16-6-IV	2003/07/ 13:50	2003/07/ 13:13	X	X	X	X	X	X
Az-16-7-IV	2003/07/ 13:52	2003/07/ 13:32	/	X	X	X	X	X
Az-16-8-IV	2003/07/ 12:57	2003/07/ 12:55	/	X	X	X	X	X

Lu. Azules

Nu. de detector

X = no presenta

Az-16-1-1

/ = si presenta

Nu. Pozo

Nu. de Nivel

TABLA 4

INVENTARIO DE GAS RADON

LUGAR: Campo Geotérmico "Los Azules"

SITIO: Pozo 9 y 16

Clasificación del Detector	Fecha de Entrada/ hr	Fecha de Salida/ hr	Estado Físico de la Superficie del Detector				
			Gotas de Agua	Lodo	Polvo	Intravariado	Defectuado
Az-9-1-111	150598/ 11:40	260698/ 11:15	/	X	X	X	X
Az-9-2-111	150598/ 11:20	260698/ 11:10	/	X	X	X	X
Az-9-3-111	150598/ 11:15	260698/ 11:25	X	X	X	X	X
Az-9-4-111	150598/ 11:54	260698/ 11:00	X	X	/	X	X
Az-9-5-111	150598/ 12:02	260698/ 11:46	X	X	/	X	X
Az-9-6-111	150598/ 12:15	260698/ 11:51	X	X	X	X	X
Az-9-7-111	150598/ 12:20	260698/ 11:57	X	X	X	X	X
Az-9-8-111	150598/ 12:24	260698/ 12:04	X	X	X	X	X
Az-16-1-111	150598/ 12:09	260698/ 12:56	/	X	X	X	X
Az-16-2-111	150598/ 12:05	260698/ 12:50	X	X	/	X	X
Az-16-3-111	150598/ 12:51	260698/ 12:05	X	X	/	X	X
Az-16-4-111	150598/ 12:04	260698/ 12:06	X	X	X	X	X
Az-16-5-111	150598/ 12:56	260698/ 12:53	X	X	/	X	X
Az-16-6-111	150598/ 12:51	260698/ 12:56	X	X	X	X	X
Az-16-7-111	150598/ 12:44	260698/ 12:43	/	X	X	X	X
Az-16-8-111	150598/ 12:47	260698/ 12:47	/	X	X	X	X

Los Azules

No. de Detector

X = no presenta

Az 16-1-111
/ /
/ /

No. de Muestras

/ = si presenta

TABLA 3

MUESTRO DE GAS RADON

LUGAR: Campo Geotérmico "Los Azules"

SITIO: Pozo 2 P 16

Clasificación del Detector	Fecha de Entrada/ hr	Fecha de Salida/ hr	Estado físico de la Superficie del Detector				
			Gotas de Agua	Lodo	Polvo	Extraviado	201-41-100
Az-2-1-11	050430/ 10:55	150530/ 11:40	X	X	/	X	X
Az-7-1-11	050430/ 10:45	150530/ 11:20	/	X	X	X	A
Az-8-1-11					EXTRAVIADO		
Az-9-1-11	050430/ 11:05	150530/ 11:54	X	X	/	X	X
Az-9-2-11	050430/ 11:10	150530/ 12:02	X	A	A	A	X
Az-9-6-11	050430/ 11:45	150530/ 12:15	X	X	/	A	A
Az-9-7-11	050430/ 12:00	150530/ 12:20	X	X	/	X	X
Az-9-8-11	050430/ 12:10	150530/ 12:24	A	X	/	A	A
Az-10-1-11	050430/ 12:45	150530/ 13:07	X	X	X	X	A
Az-10-2-11	050430/ 12:45	150530/ 13:05	X	X	X	/	A
Az-10-3-11	050430/ 12:40	150530/ 13:53	X	X	A	X	A
Az-10-4-11	050430/ 12:50	150530/ 13:00	/	X	X	X	X
Az-10-5-11	050430/ 13:10	150530/ 12:55	X	X	X	X	X
Az-10-6-11	050430/ 13:25	150530/ 12:53	A	X	A	X	X
Az-10-7-11	050430/ 13:35	150530/ 12:43	/	X	X	X	X
Az-10-8-11	040430/ 13:40	150530/ 12:47	/	X	A	X	A

Los Azules

No. de Detector

X = no presenta

No. Pozo

Az-10-1-11

No. de Muestreo

/ = si presenta

TABLA 2

REGISTRO DE CAS LABOR

LUGAR: Campo Geotermico "Los Azules"

SITIO: Pozo 9 y 16

Clasificación del Detector	Fecha de Entrada/ hr	Fecha de Salida/ hr	Estado físico de la Superficie del Detector					
			Color de Agua	lcs.	P. W.	Agua turbia	Agua fangosa	
Az-9-1-1	210290/ 10:00	050490/ 10:55	/	x	/	x	x	
Az-9-2-1	210290/ 10:00	050490/ 10:55	x	x	/	x	x	
Az-9-3-1	210290/ 10:00	050490/ 10:40	x	x	/	x	x	
Az-9-4-1	210290/ 10:00	050490/ 11:05	x	x	/	x	x	
Az-9-5-1	210290/ 10:20	050490/ 11:10	x	x	/	x	x	
Az-9-6-1	210290/ 10:45	050490/ 11:45	x	x	/	x	x	
Az-9-7-1	210290/ 09:30	050490/ 12:00	x	x	/	x	x	
Az-9-8-1	210290/ 09:35	050490/ 12:10	/	x	/	x	x	
Az-10-1-1	210290/ 11:05	050490/ 12:05	x	x	/	x	x	
Az-10-2-1	210290/ 11:00	050490/ 12:05	x	x	/	x	x	
Az-10-3-1	210290/ 10:30	050490/ 12:40	x	x	/	x	x	
Az-10-4-1	210290/ 10:05	050490/ 12:10	x	x	/	x	x	
Az-10-5-1	210290/ 12:15	050490/ 13:15	x	x	/	x	x	
Az-10-6-1	210290/ 12:30	050490/ 13:25	x	x	/	x	x	
Az-10-7-1	210490/ 11:00	050490/ 13:15	/	x	/	x	x	
Az-10-8-1	210290/ 11:30	050490/ 13:40	/	x	/	x	x	

Los Azules

No. de Detector

x = no presenta

Az-10-1-1

/ = si presenta

No. Pozo

No. de Muestreo

TABLA 1

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE TRABAJO

3.1.- Criterios de Selección del Área de muestreo en el Campo Geotérmico de "Los Azufres" Michoacán

El Campo Geotérmico de "Los Azufres" Michoacán, es uno de los más estudiados en cuanto a sus características geológicas, esto ha permitido contar con gran cantidad de información estructural y petrográfica, para finalmente efectuar una evaluación más acertada del comportamiento de este campo.

La selección de los sitios de muestreo para el campo geotérmico de "Los Azufres" se basó en los siguientes criterios:

a) Se seleccionaron tres pozos de alta producción: pozo Az-9 en el Área de Producción Maritaro, al norte y pozos Az-16 y Az-16D en el Área de Producción Tejamaniles, al sur.

b) Muestrear cada 50 metros en línea recta trazadas desde el pozo hasta las estructuras de falla que se consideran productoras de fluidos geotérmicos.

Esto permite relacionar la migración del ^{222}Rn con las condiciones de temperatura y litología, así como los efectos que puedan causar en las películas detectoras expuestas.

c) Para los muestreos realizados, se estimó un tiempo de exposición en el campo de 30 a 40 días. Al colectarlos se anotaron las características físicas que presentan los detectores como se muestra en las tablas anexas (TABLAS 1,2,3,4).

Para cada punto de muestreo se realizaron perforaciones de un metro

de profundidad. La FIGURA 6 y 7 muestra el ensamble de un muestreador típico y su colocación en campo; dentro de cada hoyo perforado con 1 m de profundidad se colocó 1 tubo de PVC de 1 m de largo por 1 1/4" de diámetro, dentro de este tubo se introdujo un tubo de 30 cm de largo por 3/4" de diámetro, quedando este colocado en la parte inferior del tubo de 1m, y sostenido por un alambre de 30 cm de longitud en la parte intermedia. Una esponja funciona como absorbedor de humedad; El detector se coloca en la parte superior del tubo de 30 cm, cubierto por una tapadera de PVC.

En cada uno de los puntos muestreados se colocó un detector plástico a base de Nitrato de Celulosa, película fabricada por Kodak Pathé, del tipo LR-115. Este detector es sensible a partículas α únicamente, cada uno de los detectores es colocado en su tubo correspondiente para cada punto de muestreo.

Es importante estudiar la relación entre las propiedades de la roca, y el comportamiento del gas radón cuando este ha recorrido las diferentes unidades litológicas que constituyen el área de estudio. Cada roca tiene características propias, tanto de permeabilidad, porosidad, propiedades petrofísicas y petroquímicas.

Para algunos detectores que se encuentran colocados muy cerca de los pozos productores, el gradiente de temperatura es mayor que el que se encuentra en detectores colocados lejos del pozo: entonces se espera que exista una variación en los valores de la densidad de trazas, en el detector por un efecto de la temperatura.

Así, la humedad y la temperatura son factores que pueden alterar los daños a los detectores, ya que las partículas α que llegan hasta el detector viajan con una determinada energía en un medio gaseoso. Si

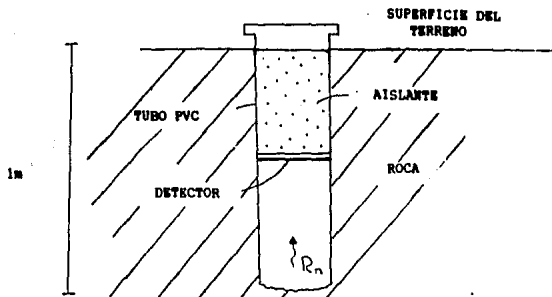


FIGURA 6 .- Diagrama de colocación de tubos de muestreo de Radón en el campo.

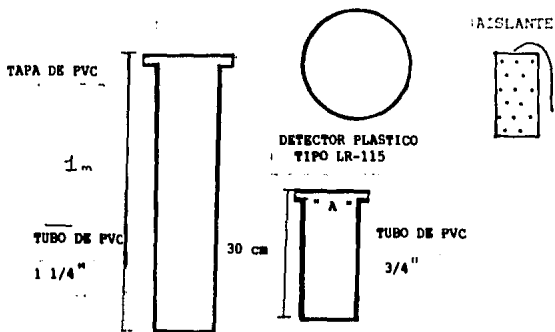


FIGURA 7 .- Componentes del ensamble de un Muestreador típico. El Detector es colocado en la posición " A "

estas partículas llegasen a cambiar de medio, la energía con la que inciden en el detector es menor, produciendo un daño de diferente magnitud. Otro factor a considerar es el de la presencia de gases corrosivos como el ácido sulfhídrico, clorhídrico, y azufre en el subsuelo, estos compuestos pueden causar algún deterioro al estado físico del detector.

Se considera que la cantidad de ^{222}Rn que se cuantifica en el área, puede relacionarse con la producción de los flujos de mayor circulación, (Balcazar.op.cot.) o con estructuras activas a través de las cuales circula radón hacia la superficie, o bien con un mayor flujo de ^{222}Rn a través de material sólido que se relaciona con el comportamiento de estructuras y pozos productores

Para los pozos muestreados Az-9, Az-16 y Az-16D, se presentan, valores anómalos de radón. Los valores medidos varían entre cada muestreo. En cada uno de los puntos de muestreo se extrajeron muestras del material, con el fin de analizar el contenido de uranio, porque se considera que la cantidad de ^{238}U es proporcional con la cantidad de ^{222}Rn registrado en los detectores (Balcazar.G.M. op. cit).

3.2.- Muestreos en el Campo Geotérmico de "Los Azufres"

La cartografía de radón realizada en este trabajo relaciona las unidades litológicas que se localizan superficialmente en el campo; tiene por objeto obtener una cuantificación de la cantidad de radón que emana del subsuelo a la superficie. El área de muestreo aparece en las FIGURAS 8a y 8b, considerándose dos zonas:

a) Zona Norte.- Muestreo localizado en el pozo Az-9 considerado de alta producción, en forma perpendicular a la Falla El Chino, con un

rumbo en la dirección de muestreo de NW 15° SE, teniendo una longitud total en la línea de muestreo de 400 metros. Los puntos de muestreo están situados a cada 50m entre cada uno. (FIGURA 8a)

b) Zona Sur.-Muestreo localizado entre la Falla Agua Ceniza, con dirección NE 29° SW y la Falla Tejamaniles de dirección E - W, pasando entre los pozos A-16 y A-14D no productora y direccional respectivamente. La distancia entre cada muestreo es de 50m aproximadamente, con una longitud total de muestreo en línea recta de 400m en una dirección NW 75° SE. (FIGURA 8b)

3.3 Técnicas de Trabajo en el Laboratorio

Después de una exposición en campo de los detectores plásticos tipo LR115 por un período de 30 a 40 días, los detectores se sometieron a un proceso de grabado que consta de:

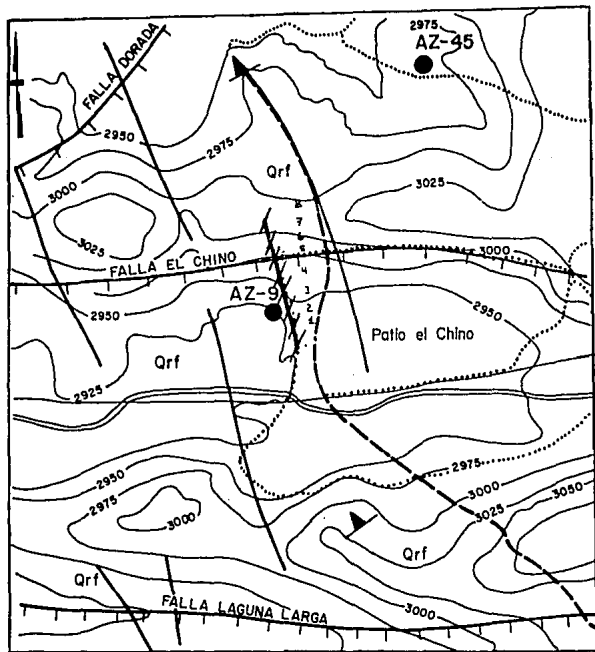
1.- Los detectores son sujetos a un grabado químico en una solución compuesta por 1 litro de agua destilada con 102 gr. de hidróxido de sodio.

2.- La solución y los detectores se mantienen en baño maría a una temperatura de 56°C.

3.- Los detectores son grabados por un período de 1 hora en la solución donde éstos giran sujetos a un carrusel, con el objeto de realizar un grabado uniforme. Durante este período de tiempo, la solución disminuye el grosor de los detectores. El grosor inicial del detector es de 12 micras, y este se disminuye hasta aproximadamente 5 micras.

Esta disminución de grosor permite evaluar a las trazas en el detector. La cantidad de trazas registradas por el contador electrónico

"LOS AZUFRES" MICHOACÁN



LITOLOGIA

- ANDESITAS (Tms)
- RIOLITA FLUIDAL (Qrf)
- TOBAS (Qtb)
- DACITAS (Qdp)
- RIOLITA VITREA (Qrv)

SIMBOLOGIA






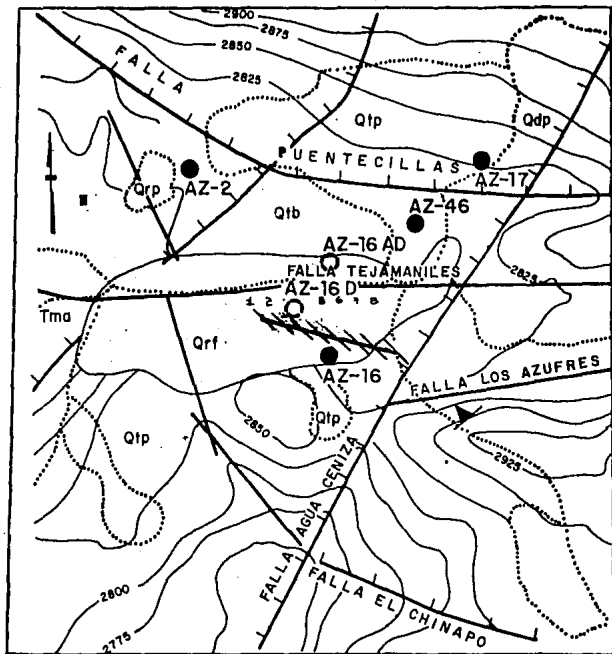
-  FALLA NORMAL
-  CURVA DE NIVEL
-  FRACTURAS
-  DIRECCION DE FLUJO
-  CONTACTO LITOLOGICO

FIGURA 8 a.-Localización de las Líneas de muestreo en el Pozo Az-9, el Norte del Campo Geotermico de "Los Azufres" Michoacán.

"LOS AZUFRES" MICHOACÁN



LITOLOGIA

ANDESITAS (Tme)
 RIOLITA FLUIDAL (Qrf)
 TUBAS (qtb)
 DACITAS (Qdp)
 RIOLITA VITREA (Qrv)

SINBOLOGIA



FALLA NORMAL
 POZO PERFORADO
 ZONA DE ALTERACION
 LINEA DE MUESTRO
 FRACTURA INFERIDA

FIGURA 8b.- Localización de los puntos de muestreo en los Pozos Az-16 y Az-16D, al Sur de l Campo de "Los Azufres" Michoacán.

es aproximadamente igual a la densidad de trazas revelada por un conteo óptico, realizado al microscopio.

4.- Después de un grabado por 1 hora, los detectores son lavados con agua corriente y secados.

5.- Posteriormente el espesor de cada detector es determinado en un medidor de espesores (marca Mitutoyo) con una aproximación de 5 micras.

6.- Los detectores son evaluados por medio de un conteo eléctrico en el cual una diferencia de potencial produce un rompimiento eléctrico (Balcazar, 1984); generándose así pequeñas perforaciones en el detector, las cuales quedan impresas en una película de Maylar aluminizada que sirve para cerrar el circuito entre los dos electrodos en donde se realiza el chispeo o rompimiento. (FIGURA 9a)

Con la aplicación del voltaje se genera, que entre los dos electrodos que conforman al contador, salte una chispa, este cambio de potencial es procesado como un pulso en un circuito RC y registrado en un contador. Por tanto cada pulso en el contador, corresponde a una traza perforada en el plástico y consecuentemente a un núcleo de radón

Para seleccionar el voltaje apropiado del conteo de trazas en el detector, se realizaron trabajos de calibración del contador de trazas electrónico, chispeándose detectores expuestos a una pastilla emisora α de ^{238}U . Los voltajes se variaron desde 800 hasta 2000 volts, obteniéndose la gráfica que se muestra en la FIGURA 9b.

Cada uno de los detectores chispeados tuvo un grosor de 4 y 5 micras. Para cada detector se obtuvieron los siguientes resultados:

a) Para un voltaje de conteo entre 800 y 1000 volts la P_e (Densidad de trazas) mostrada no oscila con más de 5 trazas por variación de voltaje.

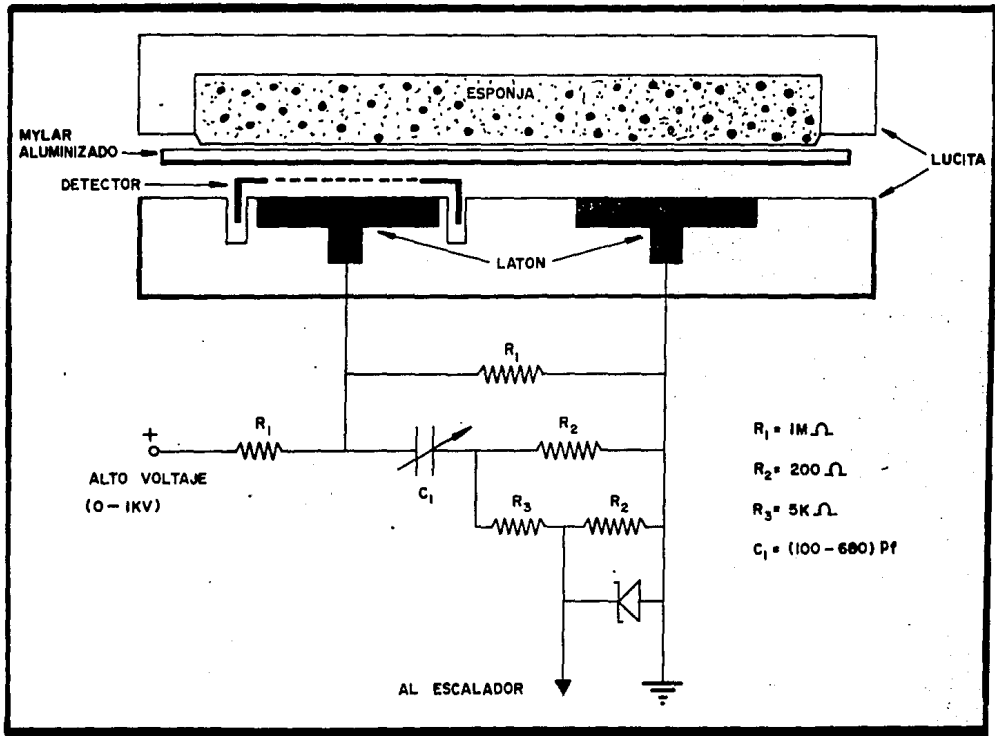


FIGURA 9 a- Esquema de un Contador Electrónico de Trazas

SELECCION DE VOLTAGE DE ROMPIMIENTO

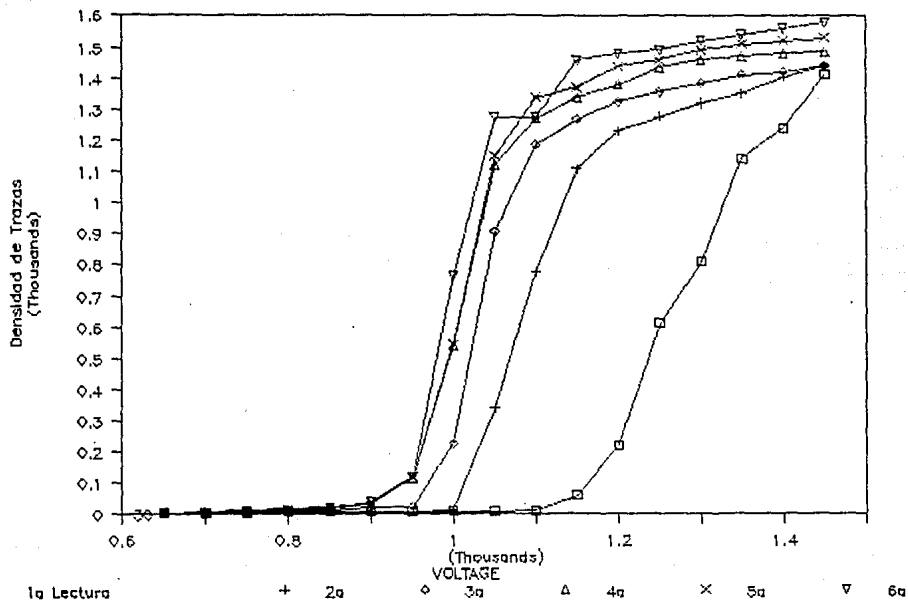


FIGURA 9b. Densidades de trazas contadas durante diferentes chispeos, para la selección del voltaje de rompimiento adecuado.

b) Para un voltaje de conteo oscilante entre 1000 a 1200 volts la k_c se incrementa, en cuanto se incremente el voltaje.

c) Para voltajes de conteo oscilantes entre 1200 y 1400 volts la k_c marcada en el display del contador no corresponde a las imagenes grabadas en el mylar aluminizado.

Con base a estas mediciones, se obtuvo que los voltajes que permiten una cuantificación más real y representativa de la ρ_c (densidad de trazas) contenida en el detector, son entre 900 y 1100 Volts. Siendo aplicado una sola vez sobre el detector para evitar un multichispeo.

3.4.- La Temperatura como Factor Activo

Para evaluar los efectos que la temperatura en el campo causa en los detectores plásticos, especialmente donde los flujos de calor son diferentes tanto a profundidad como lateralmente, se realizó un experimento en el laboratorio. Detectores plásticos tipo LR-115 se irradiaron con partículas α provenientes de una pastilla estandar de 500 p.p.m de ^{238}U por un periodo de 24 horas. Dos plásticos fueron expuestos en forma simultánea uno en la parte inferior y otro en la parte superior de la pastilla estandar. Cada par de detectores se clasifican como A_n para la parte superior y B_n para la parte inferior.

Posteriormente fueron sometidos en un horno a temperaturas entre 30° y 80° C por periodos de tiempo de 18.5, 2.5, 0.5 horas.

Sacados los pares de detectores del horno se sometieron a un grabado químico en una solución de hidróxido de sodio al 10%, a una temperatura de 56°C, durante una hora hasta obtener un grosor residual lp de aproximadamente de 5 micras.

La densidad de trazas contada ρ_c mediante el chispeo eléctrico se

corrige para cada uno de los detectores, ya que la eficiencia varía con el grosor residual (Balcazar.op.cit.). El factor de corrección es una función de lp (grosor), el 100% de eficiencia es referida a 4 micras, obteniéndose así una densidad de trazas corregida por centímetro cuadrado, k_c (Chaves y Balcazar,1985)

$$P_c = \frac{P_a}{\eta}$$

En donde η es (Balcazar,1989):

$$\eta = 4.037 - .913lp + 0.0052lp^{12}$$

y lp = grosor del detector en micras.

Los resultados obtenidos en el conteo de las trazas k_c es evaluado en función de la temperatura y del tiempo de exposición a la temperatura.

Las gráficas de la FIGURA 10a revelan que P_c se incrementa hasta los 50°C para tiempos de 2.5 y 0.5 horas excepto para 18.5 hrs. que decrece continuamente. A partir de los 60°C, P_c decrece para tiempos de 2.5 y 0.5 horas.

Los datos evaluados para P_c en función del tiempo se muestran en la FIGURA 10b. Se observa que se tiene un decremento de P_c con el tiempo de exposición a la temperatura, el decremento presenta una pendiente mayor conforme se incrementa la temperatura y el tiempo de exposición.

3.4.1.- Comportamiento del detector plástico sometido a diferentes temperaturas

Los detectores plásticos tipo LR-115 están formados por una estructura molecular complicada FIGURA 10c. Al interactuar con dicha estructura una partícula * de una energía determinada, produce

DENSIDAD DE TRAZAS A DIFERENTES TIEMPOS

DENSIDAD EN FUNCION DE LA TEMPERATURA.

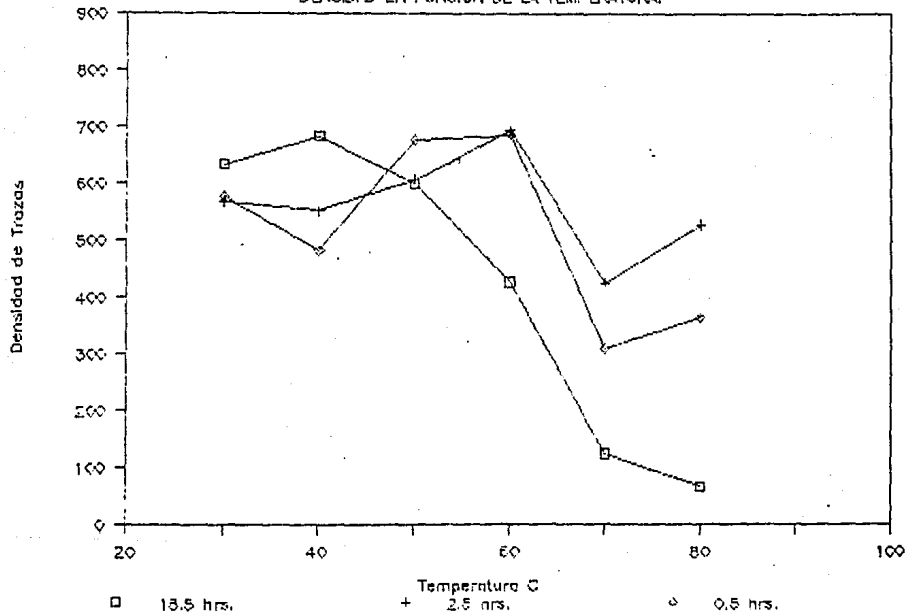


FIGURA 10 a- Efecto de la temperatura sobre el detector plástico en diferentes tiempos.

COMPORTAMIENTO A TEMPERATURA

PLASTICOS TIPO LR15.

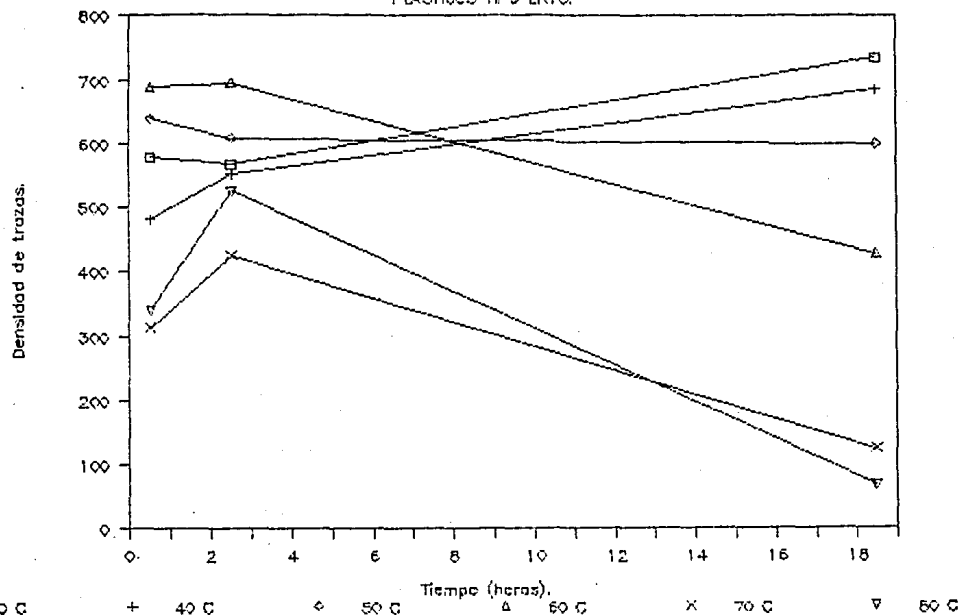
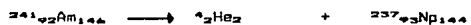


FIGURA 10b.- Efecto de la temperatura sobre la densidad de trazas

ionización y excitación de los átomos que conforman las moléculas de dicha estructura produciendo un daño. Este daño generado por la partícula ionizante induce la formación de radicales libres y reacciones moleculares, creandose fragmentos más cortos de los polimeros y productos radiolíticos de bajo peso molecular, los cuales son más sencibles a los ataques químicos que los radicales que no fueron dañados por la partícula.

Irradiaciones adicionales con partículas α monoenergéticas también se llevaron a cabo, Las partículas α utilizadas para irradiar el polímero fueron obtenidas a partir de una fuente radiactiva de Americio.

La reacción espontánea se simboliza como:



Un modelo de la incidencia y daño de la partícula α en el plástico tipo LR-115, se muestra en la FIGURA 10c.

Al incidir el ión en el polímero, la velocidad V_i es más grande que la velocidad del electrón orbital V_e , así la probabilidad de interacción entre la partícula α y el electrón es baja y consecuentemente el número de radicales libres formados es reducido.

Cuando la velocidad de la partícula α es similar a la velocidad del electrón orbital, se tiene la máxima probabilidad de interacción, entonces, el daño es grande en el polímero.

El daño causado al detector por la partícula α es magnificado al introducir al detector en una solución química de NaOH, siendo la velocidad de corrosión a lo largo de la traza, proporcional al número de radicales libres formados es decir, proporcional a la pérdida de

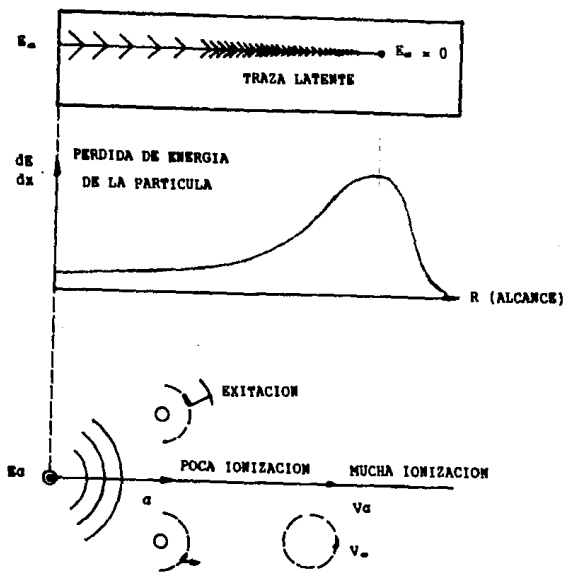


FIGURA 10 C - Daño ocasionado por una Particula α en el Detector Plástico LR-115.

energía de la partícula.

Los efectos mostrados en las FIGURAS 10a y 10b pueden tener la siguiente explicación:

Los radicales libres producidos por la incidencia de la partícula y sometidos posteriormente a temperaturas menores a 50° C continúan como radicales libres pero, con una disminución en su energía de activación, en tanto que para temperaturas mayores a 50° C existe un mayor intercambio entre los radicales libres produciendo una disminución de estos radicales (FIGURA 11).

3.5.- Contenido de Uranio en los Minerales

El elemento Uranio contenido en la Tabla Periódica, pertenece al grupo de los actinidos, con una estructura electrónica $5f^{36}d^{17}s^2$ y valencia de 4+, 5+, 6+. Se presenta en tres modos de cristalización, en los sistemas ortorrómbico, tetragonal y cúbico; en el estado metálico tiene un punto de fusión de 1132° C. El tamaño de su radio iónico es de 1,10 KX.

Geoquímicamente el Uranio es considerado como un elemento de la litósfera con una abundancia de 4g/Ton (Tomkeieff, 1946) en la litósfera superior.

En el Uranio todas sus componentes son radiactivas, encontrándose en la naturaleza tres isótopos: ^{235}U , ^{238}U , ^{234}U , siendo este último el más abundante.

Al uranio igual que al torio se les denomina elementos oxipil, nunca se presentan en estado nativo, no forman sulfuros, arsenuros, telururos, etc. El uranio está altamente concentrado en la litósfera superior (SiAl) y se le considera como generador de calor en la litósfera debido

RECONSTRUCCION DE RADICALES LIBRES EN EL POLIMERO POR EFECTOS DE CALENTAMIENTO

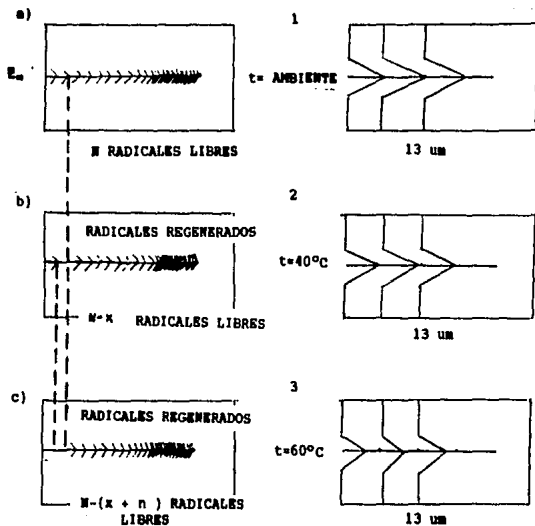


FIGURA 11.- a) Comportamiento del Polímero a temperatura ambiente. b) Regeneración de radicales en el Polímero a 40°C . c) Regeneración mayor de radicales en el Polímero a 60°C (Balcázar.M.1990)

a su energía liberada durante su desintegración radiactiva, junto con el torio y el potasio. Las relaciones típicas entre el Th y el U son:

TIPO DE ROCA IGNEA	RELACION Th/U
Rocas Intermedias	4.0
Rocas Acidas	3.4

TABLA 1

Durante la diferenciación magmática, el uranio es frecuentemente concentrado en granitos y pegmatitas, donde se forma un número independiente de minerales, con alto contenido de este elemento; durante la cristalización, el uranio tiende a ser enriquecido en rocas ígneas ácidas. Los átomos de uranio con sus valencias tienden a combinarse con elementos que en su última capa tengan el número de electrones necesarios para poderse combinar, dando origen a la formación de uranio con un arreglo cristalino propio; es el caso de la valencia seis del uranio el cual tiende a combinarse con átomos cuya valencia sea dos, para dar como resultado la formación de la Uraninita (UO_2).

El tamaño del radio iónico del uranio tiende a ser semejante a ciertos elementos presentes en minerales como los feldespatos, componente principal de rocas de tipo ácido. Estas características propias de cada elemento permiten que el uranio sustituya al otro elemento. Tal es el caso cuando por ejemplo el uranio sustituye al potasio o a algún otro elemento que cumpla con esta característica

CONTENIDO DE URANIO EN ROCAS IGNEAS	
TIPO DE ROCA	g/Ton
Rocas Básicas (Evans.1941)	0.46
Rocas Basáltos (Evans.1041)	0.83
Diabasas (Evans.1941)	0.83
Rocas Igneas Intermedias	2.61
Granitos	3.96

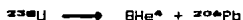
TABLA 2

El enriquecimiento de uranio en los minerales, se realiza durante la acción hidrotermal y pneumatolítica, es decir, a altas temperaturas, asociado a sulfuros que contienen cobalto, bismuto, níquel y arsénico.

En rocas silicatadas el uranio se encuentra asociado al zircón, por sus características químicas afines, lo mismo ocurre para el mineral apatita.

Algunas de las propiedades del uranio como su capacidad de combinación, capacidad de sustitución, etc, son influenciadas por los efectos que se producen en el enriquecimiento de la estructura cristalina, considerandose como un proceso no fácil de llevar a cabo debido a las condiciones específicas (tamaño del radio iónico) que el uranio requiere para su asociación, combinación y sustitución.

El ^{238}U como elemento radiactivo sufre un decaimiento durante el cual da origen a la formación de β partículas y α partículas, teniendo como producto final al isótopo ^{206}Pb estable.



Dentro de este proceso de decaimiento se encuentra el ^{222}Rn como un isótopo radiactivo con vida media de 3.824 días.

Se considera al ^{222}Rn como un gas inerte poco soluble en agua y que en menor proporción es absorbido por fases sólidas. Como todos los gases, el ^{222}Rn tiende a ocupar los espacios vacíos, escapando de estos a la superficie.

Puede considerarse que la cantidad de ^{222}Rn contenida en el subsuelo es proporcional a la cantidad de uranio presente en la roca. Entonces para rocas cuyo contenido de uranio es abundante, la cantidad de ^{222}Rn medido será también elevada. Si el parámetro porosidad en las rocas es alto, provocará que el radón se difunda más.

3.6.- Análisis de Contenido de uranio en las Muestras Colectadas

Los valores de uranio observados en las muestras de roca colectadas se encuentran relacionados a los siguientes criterios:

El uranio contenido en los minerales formadores de roca ígneas se presenta como elemento traza, formando parte de la estructura cristalina de estos minerales (Lange, 1961). Este uranio contenido en los minerales no es liberado en tanto que los agentes que producen su alteración no actúen sobre ellos. El papel de estos agentes en la alteración mineral es de gran importancia puesto que al actuar agregan elementos como el Fe, Ca, Mg, al aumentar la temperatura, provocando alteraciones generalizadas, de modo que los minerales existentes en la roca son atacados en distinto grado, reemplazando y formando nuevos minerales, como, clorita, sericita, serpentina, zeolitas, caolín y otros minerales arcillosos. La mayoría de estos productos son hidratados y

tienden a formar agregados fibrosos, amorfos o escamosos, produciendo así el desacomodo de la red cristalina de los minerales, dando la oportunidad de liberar elementos radiactivos, como es el caso del uranio, torio, cesio, bario, etc.

Para las rocas que no han sido alteradas por la presencia de fluidos hidrotermales, los minerales conservan su estructura cristalina original, sin permitir la separación de sus componentes por alteración.

La localización de las muestras se conserva en la FIGURA 12:

-Para el Pozo Az-9, las muestras se ubican dentro de una zona de falla, donde la alteración ha llegado hasta la roca original.

-Para los Pozos AZ-14 y Az-16D las muestras se ubican en una zona en que la roca se encuentra parcialmente alterada (TABLA 3).

TIPO DE ROCA MUESTREADA

SITIO DE MUESTREO	ROCA
Az-9-1	RIOLITA
Az-9-2	RIOLITA
Az-9-3	RIOLITA ESFERULITICA
Az-9-4	RIOLITA ESFERULITICA
Az-9-5	RIOLITA ESFERULITICA
Az-9-6	RIOLITA
Az-9-7	RIOLITA ESFERULITICA
Az-9-8	RIOLITA ESFERULITICA
Az-16-1	RIOLITA
Az-16-2	RIOLITA
Az-16-3	RIOLITA
Az-16-4	RIOLITA
Az-16-5	RIOLITA
Az-16-6	RIOLITA ESFERULITICA
Az-16-7	RIOLITA
Az-16-8	RIOLITA

TABLA 3

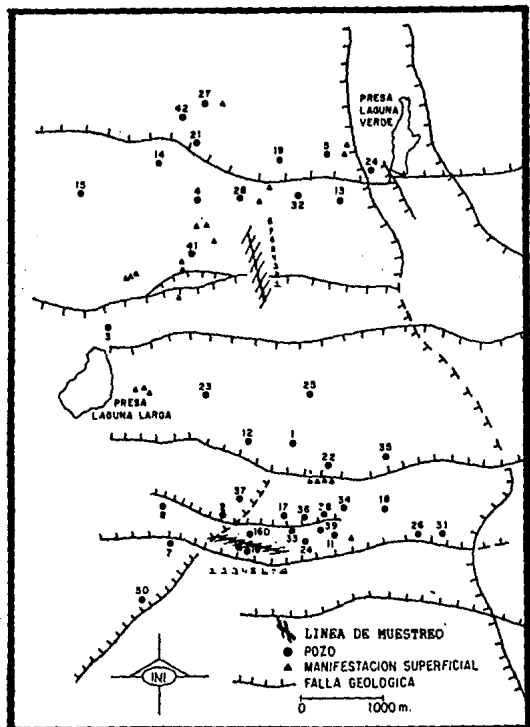


FIGURA 12 - Localización de las Muestras colectadas

CAPITULO IV

APLICACION DEL METODO A UN CAMPO GEOTERMICO

México, es uno de los países que explotan la energía geotérmica como una forma alterna para la producción de energía eléctrica, iniciando su experiencia en la década de los 50's con la primera planta geotérmica de América en Pathé, Hidalgo, en 1959, con 650 Kw/h de generación. Actualmente cuenta con una capacidad generadora de 675 MW de los cuales 620 MW se generan en el Campo Geotérmico de Cerro Prieto, Baja California, 55 MW son generados en Los Azufres, Michoacán y Los Hornos Puebla con dos plantas de 5MW. Otras regiones con buenas posibilidades de energía geotérmica son: Guadalupe Victoria y Ejido Rifta Zacatecas; La Primavera, (con varios pozos perforados) San Marcos, Planillas en Jalisco; Araró, Ixtlan de los Hervores, Los Negritos, Cuitzeo en Michoacan; Pathé-Taxidá, Hidalgo.

De las consideraciones anteriores, se denota que la mayoría de los campos geotérmicos mexicanos a excepción de Baja California, que se encuentra en un sistema de fallas transformes, la mayoría se localiza en la porción centro-norte de la provincia del Eje Neovolcánico (Moran, 1984).

4.1.- Localización

El Campo Geotérmico de Los Azufres se encuentra en la parte nor-oriental del estado de Michoacán, dentro de los Municipios de Cd. Hidalgo y Zinapécuaro, a 200 Km al noroeste de la Cd. de México y a 95 Km al este de la Cd. de Morelia.

Sus límites se localizan al norte por la carretera Maravatio-Zinapécuaro, al sur por la carretera Federal No. 15 que comunica a Cd. Hidalgo con Murelia, al este la carretera Maravatio - Cd. Hidalgo y al Oeste por la cercanía del poblado de Queréndaro (FIGURA 13).

Geográficamente, el Área se localiza entre los paralelos 19° 34' y 19° 57' latitud Norte y los meridianos 100° 27' de longitud oeste con una altura promedio de 2700 msnm, formando parte de la región de solfataras de la Sierra de San Andrés en la parte central del Eje Neovolcánico Mexicano.

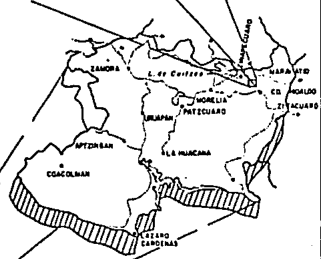
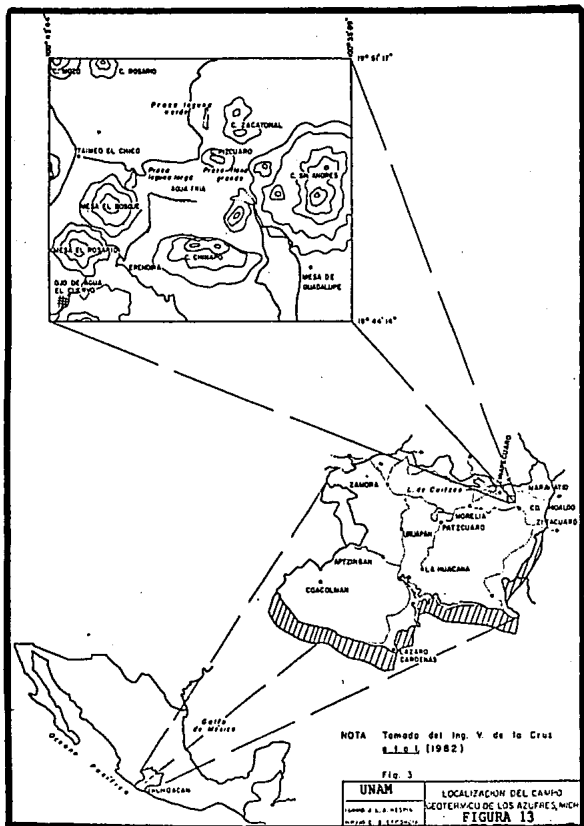
Los Azufres, Michoacán es el primer sitio en México donde se encuentran 5 unidades generadoras de energía eléctrica a boca de pozo y una planta con capacidad de 1000MW, que en un futuro próximo estará generando junto con las cinco unidades mencionadas 790 MW

Este campo manifiesta una gran actividad hidrotermal de entre las que se encuentran presentes en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico.

En el campo de Los Azufres, la CFE ha perforado hasta la fecha unos 45 pozos geotérmicos, de los cuales 21 han resultado productores y aprovechables para generar energía eléctrica. En la superficie se presentan abundantes manantiales de aguas termales, fumarolas, y zonas de caolín producto de alteración sobre rocas riolíticas (Gutierrez y Aumenta, 1981).

Con perforaciones se ha determinado que el campo geotérmico de Los Azufres es un yacimiento de líquido dominante en rocas volcánicas fracturadas de edad Mioceno-Plioceno que se extiende desde los 600m a más de 2500 m de profundidad.

El yacimiento cubre un área de 35 Km², en la zona mayor de



NOTA Tomado del Ing. V. de la Cruz
1961 (1962)

Fig. 3

UNAM	LOCALIZACION DEL CAMPO GEOTERMICO DE LOS AZULES, MICH.
ELABORADO POR LA UNAM	FIGURA 13

fracturamiento. Al sur el yacimiento presenta condiciones de producción de dos fases: vapor seco a 600 m y a 100 m vapor-agua .

En el campo se han realizado estudios geológicos, geofísicos, geoquímicos, geohidrológicos, de alteraciones hidrotermales e inclusiones fluidas entre muchas otras, tanto regionales como locales.

De acuerdo a las manifestaciones superficiales y zonas de alteración, así como los diferentes contenidos de vapor y temperatura se ha dividido el campo en dos zonas importantes:

- 1.- Al sur Tejamaniles 2.- Al norte Maritara (FIGURA 14)

4.2.- Fisiografía

De acuerdo a las divisiones de provincias fisiográficas se considera al Área de estudio ubicada en la parte central de la provincia del Eje Neovolcánico (Raiz, 1964) también denominada esta como Cinturón Volcánico Mexicano por Aguilar y Verma, (1987) o Faja Volcánica Mexicana por Venegas et. al (1985) y Subprovincia Volcánica Michoacana por Demant, et. al (1976) (FIGURA 15).

Los aparatos volcánicos localizados en esta provincia, son estratovolcanes edificadas por emisiones alternantes de productos piroclásticos y derrames lávicos que constituyen las partes más altas del país (Nevado de Toluca y Colima, Volcán Popocatepetl, Pico de Orizaba, etc.), presentandose también conos cineríticos generalmente pequeños, así como derrames fisurales, conos andesíticos en las laderas de los estratovolcanes, algunas calderas, (colapso y exposición) y estructuras esporádicas de tipo cónico originadas por eyecciones ríolíticas.

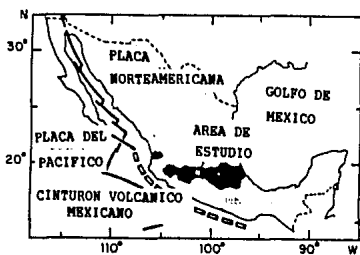


Figura 15.- Localización Fisiográfica del Campo Geotérmico de "Los Azufres" Michoacán.

La subprovincia de Michoacán se caracteriza por tener la mayor actividad plio-cuaternaria del Eje Neovolcánico.

4.3.- Geología Regional del Campo de "Los Azufres" Michoacán

A partir de trabajos realizados sobre la Faja Volcánica Mexicana, se reconoce como basamento una secuencia de sedimentos pelíticos metamorfosados a facies de esquisto verde (Cretácico Inf. Campa, 1978) y Paleozóico, (Cserna y Fries 1981).

Subyaciendo al basamento regional, se encuentra una alternancia de lutitas y areniscas en depósitos flysh formando el anticlinal de Patámbaro (Cretácico Superior). Cubriendo a los depósitos tipo flysh se encuentra lechos rojos constituidos por areniscas conglomeráticas con alto contenido de óxidos de Fe de tipo molassa continental, correspondientes al Grupo Balsas (Fries, 1975) de edad Eocénica-Oligocénica (De la Cruz, et.al, 1982).

Una secuencia de tobas y derrames, de edad Oligoceno-Mioceno se cubren en forma discordante a las formaciones anteriores.

Junto con las rocas de Oligoceno-Mioceno, algunas tobas ácidas e intervalos brechoides del Mioceno Medio, constituyen la primera evidencia de las primeras actividades ígneas (Cenozoicas) de la región. Continuando con los eventos volcánicos se presenta una serie de eventos tectono-volcánicos, conjugados a partir del Mioceno Medio, incluyendo plegamientos en la región de Tzitzio-Huetamo (Demant, 1978), vulcanismo andesítico con horizontes de derrames basálticos y brechas intercaladas (Plioceno) constituyendo lo que se considera como el Complejo Volcánico de Los Azufres.

Posteriormente se inicia el vulcanismo del la Faja Volcánica.

Mexicana, (Demant y Robin,1975) de carácter calcoalcalino (Cuaternario) representado por rocas de características petrográficas diferentes, mostrando un vulcanismo bastante diferenciado, contando con depósitos de derrames piroclásticos ácidos, lavas andesíticas, domos riolíticos y dacíticos, rocas andesíticas, dacíticas y aún riodacíticas. Considerando que el inicio del vulcanismo de la Faja Volcánica Mexicana se originó desde el Oligoceno-Reciente con 2 ciclos principales: Oligoceno-Mioceno y Plio-cuaternario (Maoser.F.1974²⁰, Negendank.1972, y Dermant (op.cit.) considera sólo al vulcanismo cuaternario como formador de la faja y el ciclo inferior Oligoceno-Mioceno como la prolongación sur de las andesitas, que forman parte de la secuencia de la Sierra Madre Occidental.

Basados en estudios de pozos geotérmicos y dataciones isotópicas, (Venegas.op.cit.) afirma que no hay evidencias para suponer la continuación de la Sierra Madre Occidental bajo la Faja Volcánica Mexicana, para ésta se ha considerado su formación en dos etapas semejantes la primera entre 20 y 4 m.a (Mioceno-Mioplioceno), basamento sobre la cual se desarrolló la segunda etapa de 4 m.a al reciente (Plioceno-Cuaternario), emitiendo productos más ácidos proveniente de cámaras más someras y diferenciadas. Concluyendo así que la Faja Volcánica Mexicana en conjunto es más antigua que el Plio-Cuaternario y que el basamento de la Sierra Madre del Sur y la Faja Volcánica Mexicana, corresponden a eventos magmáticos distintos (Morán.op.cit.).

Las primeras manifestaciones volcánicas en el área en el Oligoceno Superior, se encontraron principalmente asociados a fracturas de orientación preferencial Oeste-Noroeste y Este-Sureste.

Los últimos episodios volcánicos del Pleistoceno y Cuaternario en

esta porción del eje, parecen estar relacionados con un sistema de fracturas de orientación Este-Oeste (Garduño, 1985).

La composición petrográfica de las rocas que conforman al Eje Neovolcánico Mexicano es muy variable. Son abundantes derrames y productos piroclásticos de composición andesítica, aunque existen numerosas unidades dacíticas y riódacíticas. Existen, además manifestaciones locales aisladas del vulcanismo riolítico reciente en el área de Los Azufres, en Michoacán, Tequila y Puebla (Demant, op.cit.)
(FIGURA 16)

4.4.- Geología Local del Campo Geotérmico de "Los Azufres" Michoacán

ANDESITAS MICROLÍTICAS (Tma) .

La Andesita Mil Cumbres, como basamento local (Garduño, op.cit), aflora en la parte norte del campo y en forma abundante, hacia el sur.

Generalmente dominan andesitas pero se han observado intercalaciones de brechas y basaltos (De la Cruz, et.al. 1982) formando una secuencia de derrames superiores a 2900 m de espesor (Dobson y Mahod, 1985).

Se le ha considerado megascópicamente como una roca afanítica de color gris oscuro, con amígdalas de calcita. Se compone de oligoclasa y andesina + augita + enstatita y vidrio intersticial como accesorio.

Fechada esta Andesita Microlítica por K/Ar con una edad de 10.2 ± 0.6 y 3.1 ± 0.2 m.a. (Aumento y Gutierrez, op.cit) dando un rango del Mioceno Inf. al Pleistoceno Inferior.

RIOLITA FLUIDAL ESFERULÍTICA (Qrf)

Llamada como Riolita Agua Fria. Localizada en la porción central del área de Los Azufres sobreyaciendo a la andesita basal y subyaciendo a la andesita San Andrés (De la Cruz.op.cit).

La Riolita Agua Fria se encuentra formando domos y eyecciones pequeñas (domos colada) con espesores de aproximadamente 800m. Es la unidad más alterada hidrotermalmente, formando yacimientos de caolín, es de color gris azulado. Mineralógicamente está constituida por sanidino, plagioclasa, sodio cuarzo, biotita, hornblenda, y ortopiroxeno como accesorio, dando una variación composicional desde riolacita a riolita.

Con edad isotópica de huellas de fisión de 1.2 ± 0.4 m.a. (Gutiérrez y Aumento,1982), y 0.84 (Dobson y Mahod.op.cit) correspondiendo al Pleistoceno.

TOBAS Y BRECHAS (Qtb).

Asociados a los eventos riolíticos anteriores se encuentra material piroclástico con fragmentos de riolita, traquiandesita, andesita microgranular, feldespato y vidrio. Con una edad referente al Cuaternario para este evento volcánico, por estar asociado a la actividad volcánica que dió origen a la unidad Riolita Fluidal Esferulítica (Qrf).(De la Cruz.op.cit.)

DACITA SAN ANDRES (Qap).

Localizada al este del Área en estudio, constituye esencialmente al volcán San Andrés. (Lavas, Damos Lávicas y Piroclastos asociadas). Constituida además por fenocristales de plagioclasa, hornblenda, clinopiroxeno, ortopiroxeno, biotita y cuarzo.

Una fecha de K/Ar en plagioclasa, arrojó una edad de 0.33 ± 0.7 m.a. (Dobson y Mahod, op.cit)), ubicándose por relación estratigráfica en el Pleistoceno Superior.

RIOLITA VITREA (Qav).

Denominada como Riolita Yerbabuena, forma el grupo eruptivo mayor y más joven del centro de Los Azufres; aflorando al occidente en forma de domos de 300 m de espesor. (Piroclastos Ash Flows, Rain Flow). Con edad de 0.7 y 0.14 ± 0.2 m.a. (Dobson y Mahod, op.cit.), pertenece al Pleistoceno Superior.

TOBA PUMUCITICA (Qtp).

Ultima unidad ácida de 10 m de espesor, con edad del Pleistoceno Superior (De la Cruz, op.cit.). Aflora en la porción norte del área en estudio, depositándose en un medio ambiente lacustre, esta unidad es producto de la etapa explosiva de los domos de riolita vitrea, emplazados al occidente y suroeste. Se le asocia una edad perteneciente al Cuaternario como última actividad del ciclo volcánico ácido. Sobreyace a la unidad Riolita Fluidal.

MATERIAL VOLCANICO CINERITICO (Qvc).

Derrames basálticos y material piroclástico (cenizas, lapilli, bombas) sólo presente en un pequeño afloramiento al norte del campo. Representa la unidad más característica de la actividad volcánica reciente de la Faja Volcánica Mexicana.

DEPOSITOS DE MANIFESTACIONES HIDROTHERMALES (Qdm).

Cuerpos pequeños estratiformes de material fino, residuos orgánicos silíceo, y azufre y yacimientos de caolín en rocas ácidas evidencia de la actividad geotérmica del área. Con una edad proveniente del Cuaternario (Torres,1988).

SUELOS Y ALUVIONES (Qal)

Constituye la unidad más joven del área al igual que los depósitos hidrotermales. Producto de los procesos denudatorios a los que se encuentra sujeta el área, en general los espesores son delgados, aumentando hacia las partes topográficas más bajas.

En la zona de estudio las unidades (Tam), (Grf), (Qtb), (Qtp), (Qdm) y (Qal) afloran, pero predominan las Andesitas Microlíticas (Tam) tanto en subsuelo como en superficie (Contreas,1988).(FIGURA 16)

4.4.1.- Estratigrafía Local

Andesitas de Piroxeno, presenta espesores de 2500m, con edad de 10 m.a, a 5 m.a., por el método de K/Ar, perteneciente al Mioceno Tardío-Plioceno Temprano (Aumento y Gutiérrez.op.cit.). Sobreyaciendo a estas Andesitas de piroxeno, se encuentra una secuencia de Riolitas Fluidales Esferulíticas y lentes de obsidiana. Al sur y centro del campo la edad asignada es de 1.2 ± 0.4 m.a. (Gutiérrez.op.cit.) fechadas por el método de K/Ar. Sobre las riolitas aparecen depósitos Piroclásticos tobas y brechas del Pleistoceno (De la Cruz.op.cit.). Sobreyaciendo a esta unidad se encuentran un enorme aparato volcánico, de edad cuaternaria, de composición Andesítico-Dacítica. Sobreyaciendo a esta unidad se presentan algunos domos riolíticos de edad cuaternaria (0.7 m.a.) (Aumento y Gutirrez.op.cit.).(FIGURA 17)

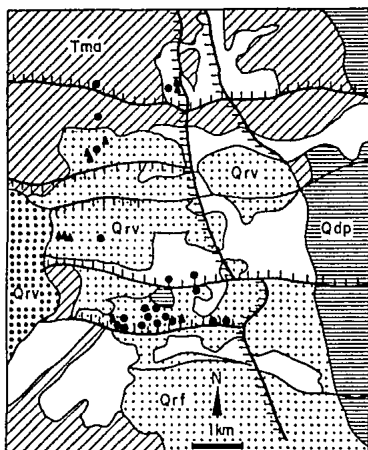









FIGURA 17.- Mapa Geologico de " Los Azufres " Michoacácan

LITOLOGIA

-  ANDESITAS (Tma)
-  RIOLITA FLUIDAL (Qrf)
-  TOBAS (Qtb)
-  DACITAS (Qdp)
-  RIOLITA VITREA (Qrv)

SIMBOLOGIA

-  FALLA
-  POZO PERFORADO

En los alrededores se observan derrames dacíticos, basálticos y depósitos piroclásticos aún más recientes (De la Cruz.op.cit.).

4.5.- Geología Estructural

El análisis estructural y microestructural superficial de Los Azufres demuestra tres sistemas de fallamiento:

1.- NE-SW: El más antiguo de los sistemas estructurales, afecta solo al basamento local, del área, éstas fallas se caracterizan por ser de pequeña extensión, de 2 a 4 Km máximo. Forman parte de este sistema las fallas El Vampiro, El Viejón y Agua Ceniza.(Garduño.op.cit), (De la Cruz.op.cit.). (FIGURA 18)

2.- E-W : Considerado como el segundo evento tectónico, el más importante y el que conforma el actual panorama estructural del área de estudio y corresponde al sistema estructural que caracteriza al Eje Neovolcánico. A este sistema pertenecen las fallas Los Coyotes, Marítaro, La Cumbre, El Chino, Laguna Larga, San Alejo, Agua Fria, Puenteceillas, Los Azufres y El Chinapq.(Garduno.op.cit.)y (De la Cruz.op.cit.).(FIGURA 19)

2.- N-S : El evento estructural más reciente que afecta al área de Los Azufres, se explica como una etapa de inestabilidad tectónica, producida posteriormente de que el área sufrió los efectos del evento principal, que originó las estructuras este-oeste.(Garduño.op.cit.) y (De la Cruz.op.cit.) FIGURA 20

Asociándose a estos sistemas de fallamiento existen fracturas de dirección NE-SW y NW-SE responsables de la porosidad secundaria (Garduño.op.cit.).

El fallamiento en dirección E-W, complica el comportamiento del

basamento, hace perder las formas de los antiguos domos de Agua Fria y secciona el masiso andesítico (Pasquaré, 1986).

La falla Agua Fria considerada como una de las más importantes dentro del campo, ocupa una posición paralela respecto a la falla Acambay con una extensión aproximada de 30 Km y una orientación este-oeste, perdiéndose al llegar al borde oriental de la caldera de Los Azufres (Pradal y Robin, 1985). Las riolitas de Agua Fria, El Chino, El Gallo, etc., presentan una estructura dómica, la cual ha sido perdida por la disección debida al fallamiento perteneciente al sistema E-W.

El vulcanismo más importante surge con los domos San Andrés y El Mozo (0.33 m.a.) alineados con una dirección NW-SE.

Se han definido dos fases de deformación extensiva (De la Cruz, op.cit.).

1.- NW-SE más antigua que origina el sistema NE-SW.

2.- Con una dirección N-S, el sistema más reciente con un máximo de extensión que genera las estructuras E-W. Limita al este al Campo Geotérmico

La zona se ha dividido en Zona Norte (Modulo Tejamaniles) y Zona Sur (Modulo Maritara), separados por una zona central, donde hasta el momento no se ha encontrado producción de fluidos geotérmicos, pero considerada productora a mayor profundidad.

En 1976 a 1977 la Compañía ELC-Electroconsult realizó un estudio geológico local con enfoque geotérmico, destacando los Horsts y Grabens de orientación E-W que gobiernan al campo geotérmico (FIGURA 18).

La zona de Los Azufres es considerada como un área de posibilidad geotérmica generada por un fallamiento cortical de dirección E-W. (FIGURA 20).

Se considera a las estructuras con rumbo E-W, estrechamente relacionadas con las manifestaciones termales presentes en la zona, ya que proporcionan las condiciones estructurales para el ascenso de los fluidos geotérmicos. Se les ha considerado como las estructuras donde las producciones de vapor son elevadas, y se localizan principalmente en la parte norte y sur de la zona de Los Azufres. (Carrasco.op.cit).

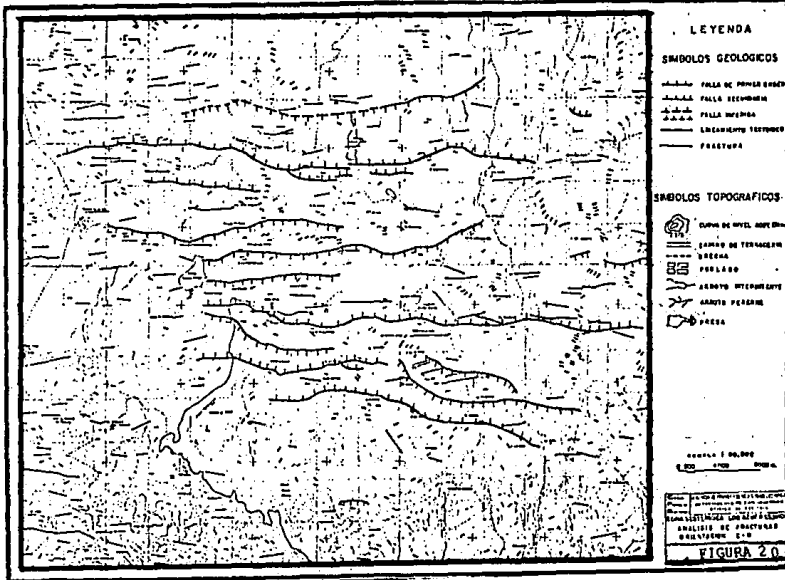
4.5.1.- Sistemas de fallamiento

Sistema NE-SW (Sistema El Viejón): Localizado en la parte sur del campo, afecta a las andesitas del Mioceno Superior-Pleistoceno (De la Cruz.op.cit) este sistema se encuentra truncado por el sistema de fallas de rumbo E-W y por los domos San Andrés y Rosario (Mesa El Bosque). En la parte sur la disposición estructural parece obedecer al flujo de las riolitas del Cerro el Chinapo (FIGURA 19). Este sistema afecta a las rocas más antiguas, las fallas de este sistema tienen un comportamiento de tipo normal; las estructuras de falla de corta extensión parece estar asociado a las grandes estructuras de la Sierra Madre del Sur.

A este sistema de fallamiento pertenecen las fallas El Viejon y El Vampiro (FIGURA 19).

Sistema E-W: Es el sistema más importante tanto en dimensión como en número, asociado a los principales pozos productores. (falla de Los Azufres, falla Agua Fria, falla Tejamaniles, etc.). La falla la Cumbre y Maritara parecen tener un complemento lateral, pudiendo traducirse en desplazamiento de tipo lateral o fallas distensivas (FIGURA 20).

Morfológicamente los lineamientos de orientación E-W generan una serie de valles y cantiles que corren paralelos a ellas. La traza de



estos lineamientos no es linealmente continua, sino que estan definidos por una serie de estructuras escalonadas.

Para este sistema se ha considerado que las fallas son de tipo distensivo con grandes extensiones.

Las fallas de gran extensión y profundidad se asocian a eventos tectónicos relacionados a la Trinchera de Acapulco a nivel regional (Demant.op.cit) de edad Pliocuaternaria

A este sistema de fallamiento se le denomina como Sistema Puenteillas, caracterizado por la dirección de fallamiento de las estructuras y sus inclinaciones hacia el norte y hacia el sur.

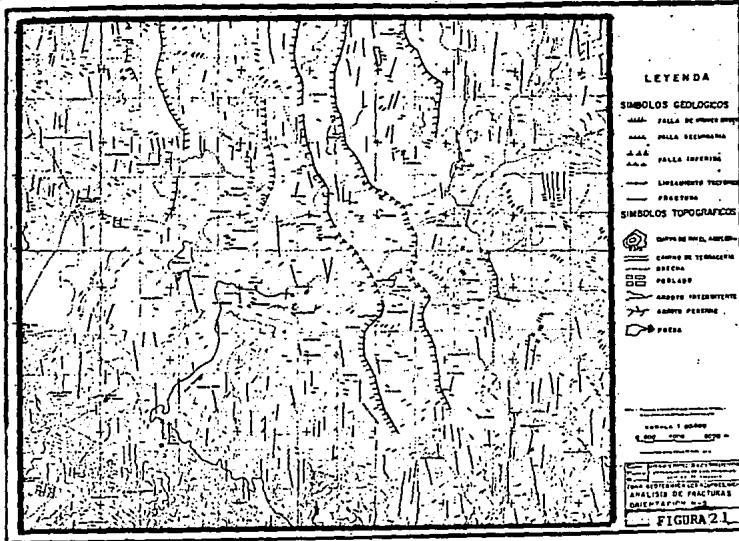
A este sistema pertenecen las fallas Maritaró y El Chinapo, al norte y sur del campo respectivamente, ambas de gran extensión y de un gran número de manifestaciones termales a lo largo de éstas; localizandose en ellas los pozos de mayor producción de vapor como Az-5, Az-9, Az-16D, etc.

Sistema N-S

Los lineamientos son a nivel local y no regional como menciona De la Cruz .op.cit). Dichos lineamientos afectan a las andesitas del Mioceno Superior-Plioceno, asignándosele a éste sistema de fallamiento una edad Cuaternaria. El sistema queda mejor definido en la porción oriental del campo (De la Cruz.op.cit).

A este sistema se le considera como producto de inestabilidad tectónica y de reactivación de estructuras más antiguas. A él pertenecen las fallas Agua Fria, Puenteillas y Los Azufres.

Estos tres últimos sistemas estructurales El Viejo, E-W y N-S. son atribuidos a tres eventos tectónicos específicos, (De la Cruz y Colaboradores) (FIGURA21).



4.6.- Marco Tectónico

La complejidad estructural y estratigráfica de la porción centro meridional de México hace difícil una reconstrucción paleogeográfica y tectónica que permita una explicación clara sobre el origen de los rasgos de esta porción de México. A nivel regional, la tectónica regional del Eje Neovolcánico, se encuentra intimamente relacionado con la evolución geodinámica de la Placa de Cocos, Norteamericana y del Caribe, influenciada por la presencia de la cordillera del Pacífico oriental. La interrelación de esfuerzos provocados por estas placas, ha dado como resultado, entre otros fenómenos, la formación de una zona de subducción en el Pacífico, conocida como Fosa de Acapulco.

Del análisis de los movimientos de estas placas, (Carfentan, 1976b) se concluye que el sistema de fracturas observado en la parte central y oriental del Eje Neovolcánico, corresponde con fallas normales y paralelas a la dirección de compresión máxima ejercida sobre la Fosa de Acapulco (FIGURA 22).

Las estructuras de la región han sido interpretada en términos de un mosaico de terrenos tectonoestratigráficos acrecionados en diferentes episodios de la evolución tectónica de esta parte de México (Campo, 1981); (Campo y Carey, 1983). Cada terreno cuenta con un basamento distinto y sus límites han sido interpretados generalmente como límites tectónicos.

Los sistemas caldéricos son relativamente comunes en el contexto de la Faja Volcánica Mexicana o Eje Neovolcánico Transmexicano, y su relación con sistemas geotérmicos queda evidenciada por la caldera de los Humeros y la Primavera, Jalisco. En Los Azufres la relación

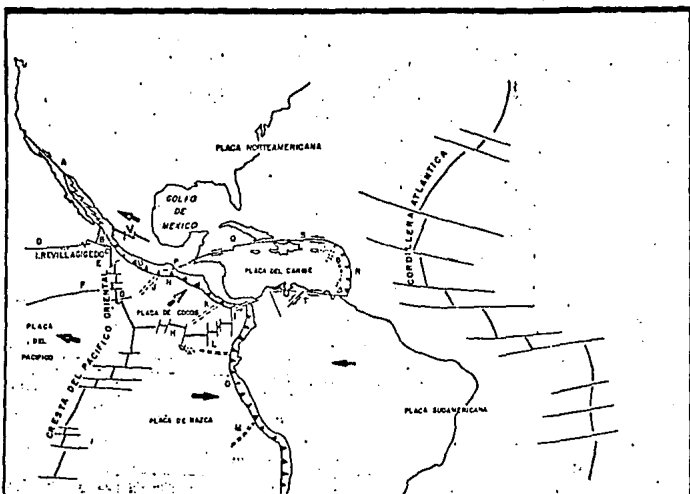
anterior nos ha sido bien definida.

Dobson (1984) no reconoce ninguna caldera, Pradal y Robin (1985) sugieren la existencia de ésta a nivel regional (20 Km diámetro), donde la Sierra de los Azufres es una zona resurgente de la mayor.

Las rocas que integran el campo volcánico de Los Azufres se puede asociar en términos globales con un ambiente volcánico-tectónico de tipo Orogénico. La densidad de fracturamiento y las direcciones que presentan los mismos, pueden explicarse en función de los distintos eventos tectónicos superpuestos que han afectado a esta provincia geológica. Quizá el evento más importante que afectó a esta provincia en épocas recientes, fué la orogenia Larámide, la cual es responsable del plegamiento del paquete de rocas sedimentarias mesozóicas (Anticlinal de Patámbaro) las cuales adquirieron una orientación nort-sur.

Posteriormente a la emisión de la Andesita San Andrés, la región fué sometida a un tectónica distensiva, responsable de la formación de un sistema de horsts y grabens orientados E-W

Se ha considerado (Pascuaré.op.cit.) que el sector central del Cinturón Volcánico Trans Mexicano se encuentra representado por un sistema de bloques fallados y basculados en la dirección NE-SW, presentándose un sistema de horts y grabens que afectan a las rocas pertenecientes a la Dacita San Andrés sin contar a las rocas contiguas de la formación Riolita Yerbabuena. En general, las principales estructuras del Eje Neovolcánico corresponden a una serie de fallas normales escalonadas relacionadas con movimientos de distensión, los cuales dieron lugar a una gran estructura en forma de fosa tectónica.



- A) - SISTEMA DE FRACTURAS DE SAN ANDRES, GOLFO DE CALIFORNIA
- B) - FRACTURA DE RIVERIA
- C) - RIVERIA TRIPLE JUNCTION
- D) - FRACTURA DE CLARION
- E) - FRACTURA DE OROZCO
- F) - FRACTURA DE SIQUEIROS
- G) - FRACTURA DE CLIPPENTON
- H) - CRESTA DE LOS GALAPAGOS
- I) - FRACTURA DE PANAMA
- J) - CRESTA DE TENHUANTEPEC
- K) - CRESTA DE COCOS
- L) - CRESTA DE CARNEGIE
- M) - CRESTA DE NAJCA
- N) - FOSA MESO-AMERICANA
- O) - FOSA PERU-CHILE
- P) - FALLAS POLOCHIC-MOTAGUA
- Q) - FALLA CAYMAN O BARTLETT
- R) - ZONA DE SUBDUCCION DE LAS PEQUEÑAS ANTILLAS
- S) - FOSA DE PUERTO RICO
- T) - FALLAS OCA-EL PILAR
- U) - FOSA DE ACAPULCO
- V) - EJE NEOVOLCANICO MEXICANO

NOTA: Figura tomada del artículo "CARACTERISTICAS DEL EJE NEOVOLCANICO TRANS-MEXICANO" por Alain Demont, Univ. Nat. Autónoma de México, Inst. de Geología, revista, vol. 2 (1978), pag. 172-187. Modificado por V. de la Cruz M.

COMISION FEDERAL ELECTRICIDAD	GERENCIA DE PROYECTOS GEOTERMIOELECTRICOS DEPARTAMENTO DE GEOTERMIA OFICINA DE GEOLOGIA
ZONA GEOTERMICA DE LOS AZUFRES, MICH. TECTONICA REGIONAL	
FECHA 1983	DISUJO: A. Z. Saavedra
FIGURA 2	ECRANO: Ing V de la Cruz M. FIGURA 100 REV. 01

La orientación E-W (Cuaternaria) permite considerar que la parte frontal o zona volcánica más cercana a la Trinchera Mesoamericana de la Región Volcánica de Los Azufres se encuentra bajo un campo de esfuerzos de tipo extensional (Nakamura 1977).

Dentro de la compresión general que existe debido a la convergencia de las placas litosféricas, se presenta un régimen regional de esfuerzos de tipo distensivo en donde el esfuerzo principal máximo tiende a ser vertical. (Carrasco, op.cit)

4.7.- Geofísica

La concentración de fluidos calientes en rocas permeables al manifestarse como zonas de baja resistividad, permiten generalmente identificar con aproximación los sitios de mayor interés en la exploración. Sin embargo una anomalía de baja resistividad no es concluyente, ya que existen condiciones geológicas que pueden tener el mismo valor eléctrico sin representar un yacimiento geotérmico. (Soto et al. 1978).

En el campo de Los Azufres, donde se han realizado pruebas de resistividad, se han obtenido valores de baja resistividad (<10 Ohm-m) íntimamente relacionados con las estructuras de orientación E-W. Se ha localizando una zona de baja resistividad limitada por las Fallas Agua Fria y Los Azufres al norte y sur respectivamente. Al E y W por los sistemas N-S (Laguna verde) y NE-SW.

Zona Norte.

Existen 3 anomalías de baja resistividad (<10 Ohm-m) cercanas a los Pozos 21 y 27 y Cerra del Gallo, Pozo 40. Las zona norte. y zona sur

están divididas por una franja anómala de mayor resistividad (> 300 Ohm-m), lecturas obtenidas en la unidad riolítica que forman el domo la Providencia.

Los incrementos de resistividad se relacionan con una menor actividad termal, ya sea por menor permeabilidad en la roca o por efectos termales de autosellamiento observado en el Pozo (Az-9). La presencia de una cámara magmática más próxima a la superficie en la zona sur puede ser explicada por la característica de la anomalía respectiva. La falla anómala de la zona Norte entre falla El Nopalito y Laguna Larga presenta un incremento de resistividad con la profundidad.

Las zonas de producción están restringidas a fallas y fracturas conductores de fluidos geotérmicos.

Las zonas montañosas se encuentran a más de 3 200 m.s.n.m., los valles que limitan el campo se encuentran a 2,750 a unos cuantos cientos de metros por debajo de el campo geotérmico (FIGURA 23).

4.8.- Geometría del Yacimiento de "Los Azufres" Michoacán

Las zonas consideradas de mayor descarga de vapor son: Maritana al norte y Tejamaniles al sur. Las zonas de descarga son separadas por varios kilómetros con escasas o nulas manifestaciones superficiales.

Al campo geotérmico de Los Azufres se le considera como un Sistema Hidrotermal en estado de calentamiento. También se considera que las zonas de producción se encuentran a profundidades entre 1000 y 2000 m, basado en estudios de resistividad realizados por la Comisión Federal de Electricidad. Las anomalías menores a 10 Ohm.m se han correlacionado con las zonas de los pozos con mayor producción a profundidades menores a 1000 m, donde la presencia de fluidos geotérmicos es mayor.

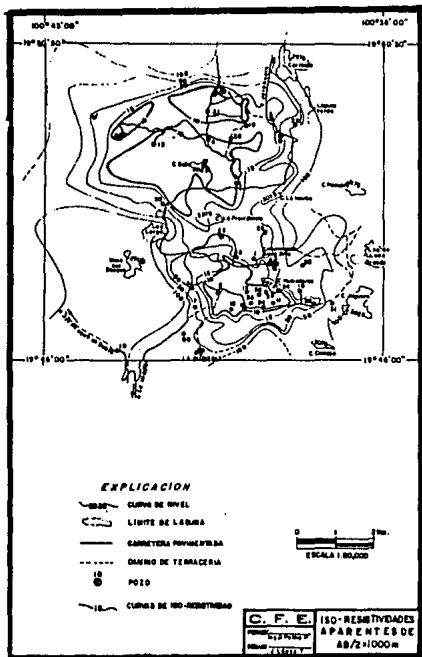


FIGURA 23

Como complemento de los estudios de resistividad, se interpretó que por disturbios estructurales el yacimiento se relaciona y localiza principalmente en las zonas Norte y Sur aunque posiblemente tengan un mismo origen, pero a mayor profundidad. De acuerdo a los estudios geoquímicos se delimitaron también zonas de mayor y menor temperatura, porosidad y salinidad, en ambas zonas.

4.8.1.-Aspecto Geotérmico General Característico del Yacimiento de "Los Azufres" Michoacán

El campo geotérmico de Los Azufres está considerado del tipo de yacimientos de Vapor y Líquido dominante. Sin embargo la topografía de la zona y la relación del yacimiento con el sistema geohidrológico regional permiten la formación de paquetes de vapor en la parte superior del yacimiento, tanto en el sur como en el norte, siendo de mayor dimensión en la zona sur.

La formación de vapor se debe a la relación entre la carga hidrostática del agua fría sobre el yacimiento y caliente y al alto topográfico de la Sierra de Los Azufres. (De la Cruz.op.cit.).

4.9.- Evaluación y Relación del Mapeo de Radón con las Características del Campo en Estudio

Los valores obtenidos en los muestreos de ^{222}Rn , presentan variaciones para cada muestreo. Diversos factores influyen en estas variaciones, como la precipitación fluvial, producción de vapor - agua, estructuras geológicas, contenido de uranio en las muestras de roca, gradientes de temperatura, etc.

A continuación se comenta sobre la posible influencia de cada uno de estos factores:

PRECIPITACION PLUVIAL vs. ^{222}Rn .- La precipitación pluvial parece no jugar un papel importante en las mediciones de ^{222}Rn , y no existe variación apreciables de precipitación durante los periodos de muestreo realizado, aunado a esto se ha mencionado en el capítulo 2 que el radón no es soluble en agua (FIGURA 24).

PRODUCCION VAPOR-AGUA vs. ^{222}Rn .- Las dos zonas de muestreo son consideradas como productoras de agua-vapor en la zona norte, donde la k_t de ^{222}Rn (medida por día/cm) es menor que en la zona sur productora de vapor encontrándose así que el radón se asocia en mayor cantidad al vapor para viajar hacia la superficie donde es cuantificado (FIGURA 25 y 26).

ESTRUCTURAS GEOLOGICAS vs. ^{222}Rn .- Los datos colectados en el campo para el Pozo Az-9 indican un comportamiento anómalo en relación a las estructuras muestreadas, observándose que las densidades de trazas por día, en cada punto de muestreo, tienden a disminuir en tanto se va alejando de la estructura de falla. En los Pozos Az-16 y Az-16D con mayor contenido de vapor, la situación es diferente, no se observa una variación sistemática, sin embargo los valores obtenidos son en promedio un 50% mayor que en el área cercana al Pozo Az-9 (FIGURAS 25 y 26).

CONTENIDO DE URANIO EN LAS MUESTRAS vs. ^{222}Rn .- El contenido de uranio en las muestras colectadas, se presenta en la TABLAS 4 y 5. Como se aprecia para la zona norte los valores son muy bajos en tanto que para la zona sur los valores son mayores, esto es por el contenido

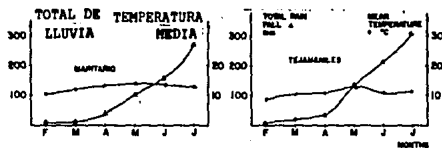


FIGURA 24.- Valores de Precipitación Pluvial y Temperatura medidas durante los muestreos.

de minerales radiactivos en las muestras de roca analizadas es variable debido a los procesos de alteración.

GRADIENTES DE TEMPERATURA vs. ^{222}Rn .— Para este factor las medidas de temperatura realizadas en cada punto de muestreo, varían entre los 10° y 16° C en superficie; si se considera que la temperatura no es un factor que intervenga en la difusión de ^{222}Rn , se dice entonces que la cuantificación del radón realizada es efectivamente la que proviene del subsuelo. Aunado a que los detectores sólo sufren regeneración a partir de los 50° C, la densidad de trazas medida durante los muestreos es real, siendo que el detector no sufre regeneración alguna pues las temperaturas en cada punto de muestreo no alcanzan los límites de regeneración a la profundidad muestreada. FIGURA 24.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



MUESTREOS DE RADON

POZO Az-9

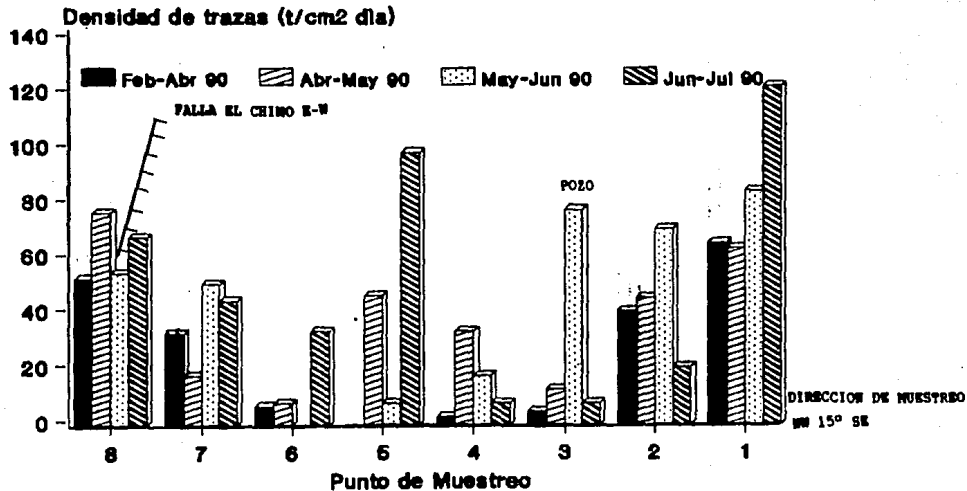


FIGURA 25 y 26.- Comportamiento del Radón en relación a las Estructuras Geológicas.



MUESTREOS DE RADON

POZOS Az-16 y Az-16D

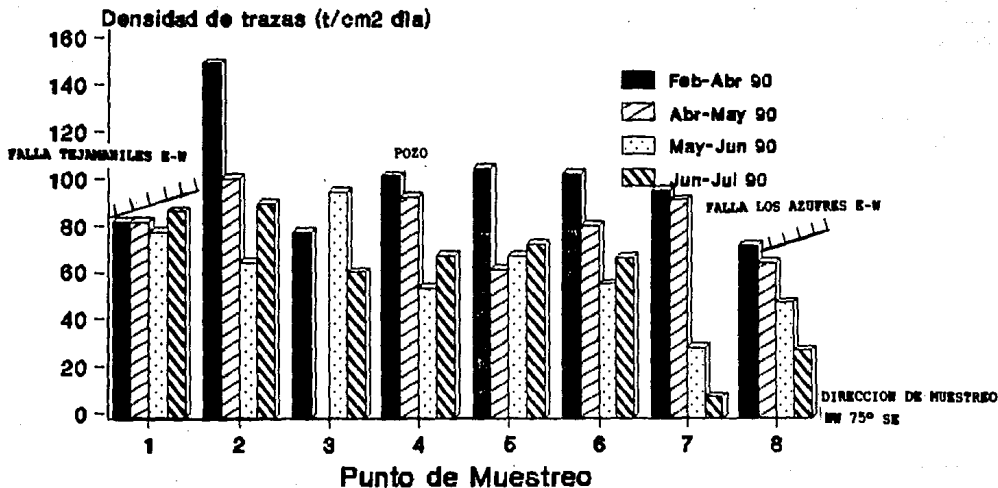


FIGURA 26

TECNICA DE ANALISIS EMPLEADA: Fluorimetria
Semicuantitativo

Nx DE MUESTRA	POZO	PUNTO DE MUESTREO	CONT.U. p.p.m.
1	9	1	0.0+
2	9	2	0.31
3	9	3	0.94
4	9	4	0.79
5	9	5	0.0+
6	9	6	0.0
7	9	7	0.0
8	9	8	0.0

TABAL 4.- Contenido de Uranio en las Muestras
colectadas, para el Pozo Az-9

Nx DE MUESTRA	POZO	PUNTO DE MUESTREO	CONT.U. p.p.m.
9	16	1	5.3
10	16	2	3.0
11	16	3	1.6
12	16	4	1.7
13	16	5	2.8
14	16	6	2.7
15	16	7	2.5
16	16	8	2.3

TABLA 5.- Contenido de uranio en las Muestras
colectadas, para el Pozo Az-16 y 16D

CAPITULOS V Y VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los Azufres Michoacán esta considerado como uno de los principales centros eruptivos del eje naovolcánico, se encuentra asociado, a una cámara magmática de gran dimensión, estimada en 450-800 Km³, emplazada a poca profundidad, posiblemente de 5 a 10 Km (Carrasco.op.cit.). Tiene la presencia de un acuífero profundo también de gran dimensión y gran dinámica de recarga, así como la presencia de capas rocosas impermeables y estructuras geológicas. Los Azufres conforman una de las áreas geotérmicas de mayor importancia en el país, para la producción de energía eléctrica a través de la explotación de flujo de fluidos calientes vapor-agua que emanan a la superficie del terreno.

La aplicación del método de muestreo de radón en esta región volcánica, altamente productora de fluidos geotérmicos ha dado la posibilidad de establecer relaciones con la localización del Campo Geotérmico, producción de agua y vapor, agentes meteoricos, estructuras geológicas, contenido de uranio en la roca, que permitan considerar está técnica como una herramienta de gran ayuda en la prospección geotérmica.

Los valores obtenidos de radón durante los periodos de muestreo establecen una estrecha relación con la fracción de vapor obtenida en los Pozos (Balcazar, González y González,1990).

El tipo de roca en el cual fueron realizados los muestreos de radón son rocas de tipo ácida, riolitas, con un contenido de uranio reportado en la literatura (Senftle y Keevill, 1947) de aproximadamente de 4 p.p.m. No existe relación alguna entre la cantidad de uranio en las

muestras de roca analizadas en este trabajo, ver TABLA 4 Y 5 la k_e obtenidas durante los muestreos de radón. El radón como gas tiende a ocupar los microporos vacíos en las rocas, almacenándose en ellas como producto de la cantidad de uranio contenido en los minerales formadores de rocas ígneas y de la unión con el vapor proveniente del subsuelo. La no correlación indica que la señal del radón proviene de zonas más profundas, asociadas a la producción de vapor que lo arrastra a la superficie, estableciéndose así que el radón muestreado está relacionado con la producción de vapor (Balcazar.op.cit). Esto se corrobora en la zona Maritara al norte del campo donde la k_e de radón medida es mucho menor y menos constante que en la zona Tejamaniles al sur del campo, siendo la primera zona menos productora de fluidos geotérmicos que en la zona sur, de mayor producción, los valores de radón medidos en esta zona sur, son mucho mayores y más constantes, FIGURAS 25 y 26. La producción de fluidos geotérmicos de la zona norte es vapor-agua y como dentro de las propiedades del radón es su escasa solubilidad en agua, probablemente explica la disminución de las emanaciones de radón a la superficie, en tanto que en la zona sur la producción de fluidos es totalmente de vapor, arrastrando este vapor el radón, incrementándose así su emanación a la superficie.

El trabajo realizado para el Método de muestreo de radón para la posible localización de fuentes geotérmicas, es considerado como una herramienta útil, aún en desarrollo con múltiples áreas de investigación, de bajo costo, fácil manejo y de bajo riesgo en la prospección geotérmica.

Se recomienda que para una evaluación más precisa sobre el comportamiento del gas radón a profundidad se lleven a cabo muestreos

periódicos durante todo el año, por varios años para poder evaluar con mayor precisión la influencia de parámetros como temperatura, porosidad, permeabilidad, producción de agua-vapor, grado y velocidad de difusión a través de los diferentes medios sólidos por los que viaja el radón, así como la temperatura a profundidad.

BIBLIOGRAFIA

- Arellano.V.A.
La Energía Geotérmica en México y el Mundo, Resumen
Instituto de Investigaciones Eléctricas.
Cuernavaca Morelos, México. 1985
- Nieva.D., Iglesias.E., Contreras.E., Chatelineu.M. and Quijano.L.
Development in Geothermal Energy in México- Part Fourth--
Evaluation in Geothermal Resource Multidisciplinari
Studies of Los Azufres, Field. 1987
- Heisenberg
Desarrollo de un Método para la Cuantificación y distribución de
Uranio en Minerales y Matrices
Martines.R.Arturo
Tesis profesional. Toluca, Edo. de México.
- Balcazar.M., López.A., and Coapio.A..
Radon as a signal to locate Geothermal Sources.
G.I.Aplicada, Centro Nuclear, Salazar, Edo. México
Heat Recovery, Vol. 6, No 3, p.p. 201 - 207. 1989
- Gessner.G.Hauley
Generalidades del Radón
Diccionario de Química y Productos Químicos
Barcelona, 1975. Editorial Omega
- Mc. Graw Hill
Enciclopedia de Ciencias y Tecnología
Generalidades del Radón
Vol. 11 Pp. 341-343, 1977
- Lawrence.S.
Chemical Properties of Radon.
Argonne National Lab. Chemical Div.
Argonne, Illinois 60439, 1986
- Fleischer.L.R. and Magro-Campero.
Radon transport. A tool for uranium exploration and
earthquaks prediction.
General Electric Research and Development Center.
Schenestady, N.Y., USA. 1986
- Schery.S.D. and Siegel.D.
The role of channels in the transport of Radon
Journal of Geophysical Research. Vol.4 No B12
New Mexico Institute of Mining and Technology
Socorro, New Mexico, 1986.
- Avendaño.M.E.
Grabado electroquímico de Plásticos dañados por partículas
dañadas por partículas cargadas
Tesis Profesional, Toluca. Edo.México, 1981.
- Fleischer.L.R.
Nuclear Tracks in Solids.
University of California Press, Berkeley, 1975.

- Chávez.B. y Balcazar.G.
Eficiencia de conteo como función del Grueso Residual en plásticos delgados utilizando un contador de chispa con voltaje variable
Gerencia de Investigaciones Industriales
División de Técnicas Nucleares
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
Junio de 1985
- Tomkeieff and Rankam.K.
Geochemistry
Chicago. Universidad. 912p.1950
- Lange.N.A.
Handbook of Chemistry
10a ed. N.Y.
Mc Graw Hill, 1961
- Morán.Z.D.
Geología de La República Mexicana
Facultad de Ingeniería, UNAM
- Gutiérrez.A. y Aumento. F.
The Los Azufres, Michoacán, México, Geothermal Field.
Comisión Federal de Electricidad, México. Junio, 1981.
- Carrasco.N.G.
Geología y Petrología de los Campos Volcánicos de Los Azufres, Mich., Amealco, Gro., y El Zamoana, Gro.
Tesis de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Ciudad Universitaria, 1988.
- Campa.F.
La evolución tectónica de Tierra Caliente'
Bol. Soc. Geológica, México
Tomo XXXIX No 2, 1978
- Demant.A.
Características del Eje Neovolcánico Transmexicano
Revista del Instituto de Geología, UNAM
V.2, No 2, p.p. 172-187
- Demant.A. y Robin.C.
Las facies del vulcanismo en México
Revista de Geología UNAM
p.p. 70-83, 1975

- Moseer.F., Nair.D. y Negendank
Paleomagnetic investigations of the tertiary and quaternary igneous rocks
Geol: Rundschau, 63 (2) p.p. 451-483
- Negendank.J.
Volcanics of the valley of México
N. Jb. Miner. Abh:116, p.p. 308-320
- Garduño.V.
Revista de Geotermia, Geoenergía
Vol.1 No 1, 1985
- Gutierrez.N.
Geología Estructural del Campo Geotérmico de Los Azufres
1a. Reunión Interdisciplinaria sobre el Campo Geotérmico de Los Azufres. Michoacán.1983
- Torres.I.S.
Estudio Mineralógico y Minerafráfico de los pozos del campo geotérmico de Los Azufres, Michoacan.
Facultad de Ingeniería, UNAM, 1988.
- Contreras.E., Dominguez.L., Iglesias.E., Garcia.R. Huitrón.P.
Compendio de los resultados de las mediciones petrofísicas en núcleos de perforación de Los Azufres, Michoacán.
Revista de Geotermia,Geoenergía. Vol.4, No 2, p.p. 79-105.
- Martiñon.H., Garduño.V.
Análisis estructural de la zona geotérmica de Los Azufres Mich.
Revista de Geotermia,Geoenergía, Vol.1 No.1 1985
- De la Cruz.V.,Salinas. J.A.,González.D.O., y Sandoval Silva.
Estudio Geológico-Estructural a Detalle del Campo de Los Azufres, Michoacán
Comisión Federal de Electricidad, Depto. de Exploración, Informe 9-82, Enero, 1982.
- Carfantan.J.C.
Ensamble Geológico de México Meridional (Frances)
Revista de Geofísica Internacional V:22, No 1, p.p. 39-56
1983
- Campos.E.
Estudio Geológico Regional del área del Valle de Bravo-Tzitzio, estado de México y Michoacán
Tesis profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM
1984

- Campa.F., Ramirez.J., Flores.R.
Conjunto estratotectónico del occidente de Guerrero yoriente de Michoacán
Resúmen de la V Conferencia Geológica Nacional. México, 1980
- Dobson
Geología de la República Mexicana
Geología de la Región Central de México
Facultad de Ingeniería, UNAM
1973
- Pradal y Robin
Geología de la República Mexicana
Geología de la Región Central de México
Facultad de Ingeniería, UNAM
1984
- Nakamura
Estudio Estructural del campo geotérmico de Los Azufres
Reporte de la Comisión Federal de Electricidad la Reunión Interdisciplinaria, Michoacán, 1983
- BalcazarG.M.,Gonzalez.E. y Gonzalez.T.D.
Radon Mesasurements in Heat Producing Geothermal Wells
Inst. Nac. de Investigaciones Nucleares A.P. 18- 1027, México D.F. 11801, México
15th International Conference in particle tracks in solids
Typing form for abstacks (To be submitted before March 31, 1990)
- Fis. Ma. Eugenia Camacho López.
Calibración y eficcencia de un Sistema Electroquímico multicelular para Neutrones
Ciudad Universitaria, 1988
- Gessner.G.Hauley
Diccionario de Química y Productos Químicos
Barcelona 1975, Pg. 733
- L.M.Arturo.
Desarrollo de un Método para la cuantificación y distribución de uranio en Minerales y Matrices
Tesis Profesional, Toluca, Edo. de México, 1982.