

*Fol. 10*

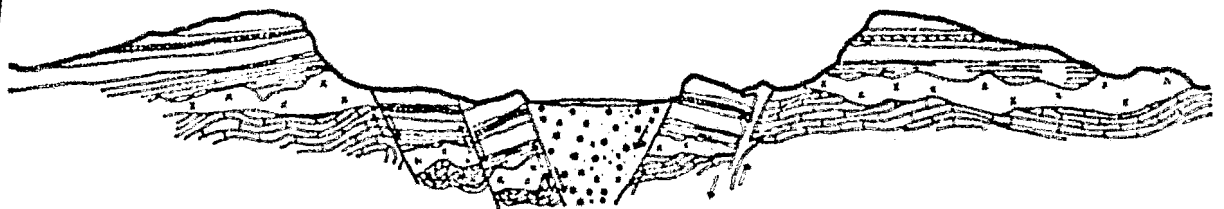
# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE BONETO, DGO.

MEXICO.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



## TESIS PROFESIONAL

INGENIERO GEOFISICO

JOSE ANTONIO MARTINEZ SANCHEZ  
ROBERTO PEREZ PAREDES

MEXICO, D.F. 1983

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



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 esta 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.



SIERRA DE CONETO , DURANGO , MEX.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIRECCION

60-I-79

Señores MARTINEZ SANCHEZ JOSE ANTONIO Y  
PEREZ PAREDES ROBERTO,  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Prof. Ing. - Roboam León Sánchez, para que lo desarrollen como tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO GEOFISICO.

"ESPECTROMETRIA DEL URANIO Y APLICACION EN EL AREA CERRO  
MONTOSA EN LA SIERRA DE ECNETO, DGO., MEXICO"

- I INTRODUCCION.
- II ESPECTROMETRIA Y GEOLOGIA DE URANIO Y TORIO.
- III APLICACION DEL METODO.
- IV INTERPRETACION.
- V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.  
BIBLIOGRAFIA.

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán - - prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses - como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atencamente.  
"POR MI FAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitario, D.F., 30 de abril de 1983.  
EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rasón Chávez

JNE-  
CARCH-NAV:ste

A MIS PADRES

Con gran emoción y satisfacción dedico este trabajo al Sr. Antonio Martínez Delgado y a la Sra. María Luisa Sánchez de Martínez, mis padres.

Este trabajo es de ustedes y quiero que así lo sientan porque en cada página está la participación, apoyo y cariño que me han brindado desde 1949.

gracias  
José Antonio

A MI ESPOSA E HIJA

Para Yolanda y Luisa que tuvieron la paciencia de ver culminados los esfuerzos de un buen tiempo pasando carencias de todo tipo.

Para ustedes dedico este trabajo que es lo único que tengo.

Con todo mi cariño  
José Antonio

A MIS HERMANOS Y TIO

Para Norberto y Rafael hago patente mi reconocimiento por el apoyo incondicional que siempre me dan.

Para ti Tío Filemón con gran respeto por tus valiosos consejos.

Serfa poco lo que dijera para hacerles sentir lo que vale todo lo que me dieron, pero ustedes lo entienden.

Por ustedes!!

"El Fraude"  
José Antonio

Para mi amigo de siempre M.en C. Juan García Abdeslem.

Agradecimientos

A los señores Ing. Roboam León Sánchez, M.en C. Juan Brandi Purata e Ing. Carlos Rivera Villasana, como Director y Sinodales de Tesis por sus consejos y gufa en la elaboración de este trabajo.

A los señores Ing. Jesús Gómez Sosa e Ing. Julio Caballero Corona por su valiosa colaboración en la parte de Geología.

A las señoras Graciela Galindo y Rocfo Carrillo por su paciencia de transcribir todo este trabajo y por su valiosa cooperación.

A todos mis profesores por haberme hecho partícipe de sus conocimientos, en especial a los señores M. en C. Antonio Roldán, M. en C. Antonio Camargo Z. e Ing. Enrique del Valle T.

Al Ing. Manuel H. Etchechury por todas las facilidades en mi época de estudio.

Respetuosamente  
José Antonio

A MIS PADRES

A la Sra. Delfina Paredes Moreno quien no ha es catimado esfuerzo alguno para lograr lo que como individuo y persona soy.

Al Sr. Gerónimo Romero Gómez quien a la falta - de un padre supo guiarme durante mi infancia, juventud y adolescencia, con sus sabios consejos y apoyo constante y desinteresado.

Con admiración y respeto dedico a ustedes este trabajo en gratitud por todo lo que me han dado en - mi existencia.

gracias  
Roberto

A MI ESPOSA E HIJO

A Ma. de Jesús, quien gracias a su constante - apoyo, es posible dar este paso tan importante en mi vida, con amor y cariño, dedico este trabajo.

A Israel, en el cual fundo todas mis esperanzas y todos mis anhelos de mi existencia.

Con todo mi cariño  
Roberto

**A MIS HERMANOS Y TIOS**

A Dámaso y Gabriela por el profundo respeto y -  
cariño que nos liga.

Al Sr. Manuel Paredes Moreno y a su señora Espo  
sa Concepción Arias de Paredes con emoción y respeto  
mil gracias por sus sabios consejos en mi infancia.

A la Sra. Esther Gómez de Romero, a los Sres. -  
Agustín y Gregorio Romero Gómez por su apoyo.

A toda mi familia, quienes de alguna manera han  
contribuido a mi superación.

A todos ellos, mi gratitud y respeto.

Roberto

**Agradecimientos**

A los señores Ing. Roboam León Sánchez, M.en C.  
Juan Brandí Purata e Ing. Carlos Rivera Villasana, -  
como Director y Sinodales de Tesis por sus consejos  
y guía en la elaboración de este trabajo.

A los señores Ing. Jesús Gómez Sosa e Ing. ~~Ja-~~  
lío Caballero Corona por su valiosa colaboración ~~en~~  
la parte de Geología.

A los señores Juan Escobar Estrada, Gerardo ~~Mar-~~  
tínez Acosta y Arturo Monarez, por su ayuda y colabo-  
ración en los trabajos de campo.

A todos mis profesores por haberme hecho participante  
cipe de sus conocimientos, en especial a los señoras  
M.en C. Antonio Roldán, M.en C. Antonio Camargo ~~Z.~~  
e Ing. Enrique del Valle T.

Al Ing. Miguel Lanz Herrera por su apoyo, orientación  
tación y amistad que me ha brindado desde los años -  
del bachillerato.

Respetuosamente  
Roberto



ESPECTROMETRIA DEL URANIO Y APLICACION EN EL AREA  
CERRO MONTOSA EN LA SIERRA DE CONETO, ESTADO DE  
DURANGO, MEXICO.

	Pag.		Pag.
I N D I C E	6	2.5 Registro de pozos	26
P R O L O G O	1	2.5.1 Programa de registros básicos para uranio	28
1. INTRODUCCION	5	2.5.2 Interpretación cuantitativa de registros de rayos gama	30
1.1 Antecedentes	5	2.5.3 Aplicación práctica	34
1.2 Objetivos	5	2.6 Abundancia geológica del uranio y torio	37
2. ESPECTROMETRIA Y GEOLOGIA DE URANIO Y TORIO	5	2.6.1 Propiedades físicas y químicas del uranio	40
2.1 Principios de radiactividad	6	2.6.2 Propiedades físicas y químicas del torio	41
2.1.1 Constituyentes de los núcleos	6	2.6.3 Características químicas generales	41
2.1.2 Desintegración nuclear	7	2.6.4 Usos del uranio	42
2.1.3 Proceso de decaimiento radiactivo	8	2.6.5 Usos del torio	44
2.1.4 Equilibrio radiactivo	10	3. APLICACION DEL METODO	45
2.1.5 Unidades de medición	12	3.1 Localización y acceso	45
2.1.6 Dosis máxima permisible	14	3.1.1 Fisiografía	45
2.2 Espectrometría de rayos gama	15	3.2 Generalidades	50
2.2.1 Espectro de pulsos altos	16	3.3 Aplicaciones	51
2.2.2 Establecimiento de ventanas	17	3.4 Aspectos regionales	51
2.2.3 Señales registradas	18	3.4.1 Vulcanismo	51
2.2.4 Ventana de torio	18	3.4.2 Litología regional	53
2.2.5 Ventana de uranio	18	3.4.3 Unidad Gotera	53
2.2.6 Ventana de potasio	19	3.4.4 Secuencia ácida	54
2.2.7 Ventana de cuenta total	19	3.5 Geología del área	55
2.3 Ecuaciones espectrométricas	19	3.5.1 Manifestaciones uraníferas	56
2.3.1 Ecuaciones de conversión	19	3.6 Trabajo espectrométrico de campo	59
2.3.2 Ecuaciones de cuenta total	20	3.6.1 Medición de fondo	59
2.3.3 Calibración	20	3.6.2 Dimensiones y localización de fuentes	59
2.4 Instrumentación	20	3.6.3 Estudios sistemáticos	61
2.4.1 Contador Geiger - Miller	21	3.6.4 Estudios de recorrido variable	62
2.4.2 Cintilómetro	21	3.6.5 Medición de puntos	62
2.4.3 Espectrómetro de umbral	23	3.6.6 Anotación de datos	63
2.4.4 Espectrómetro diferencial	24	3.7 Presentación de resultados	63
2.4.5 Registro de rayos gama	25	3.7.1 Planos de isorradadas	63
		3.7.2 Secciones	64
		4. INTERPRETACION	70
		5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
		BIBLIOGRAFIA	80

## INDICE DE FIGURAS

### Figuras:

1. Balance de fuentes en 2000 (electricidad)
2. Participación nuclear en 2000.
- 2.1 Espectro electromagnético.
- 2.2 Diagrama de nivel de energía para el potasio radiactivo.
- 2.3 Serie radiactiva del uranio y del torio.
- 2.4 Espectro de torio, uranio y potasio obtenido a nivel de suelo con cristal de NaI de 76x76 mm.
- 2.5 Diagrama del contador Geiger-Müller.
- 2.6 Diagrama del cintilómetro.
- 2.7 Aplicación de un filtro diferencial para lecturas radiométricas cuantitativas in-situ.
- 2.8 Espectro de rayos gama naturales y posición de umbrales.
- 2.9 Diagrama del espectrómetro de 3 canales.
- 2.10 Diagrama del registro de rayos gama.
- 2.11 Transporte del equipo de registro.
- 2.12 Equipo de registro de rayos gama.
- 2.12a Gráfica del registro gama, SP-R.
- 2.13 Modelo de calibración.
- 2.14 Datos del registro de rayos gama del modelo de calibración.
- 2.15 Datos del registro de rayos gama de un depósito de uranio comparado con la calibración de modelos.
- 2.16 Vol. diferencial  $dV$  en un sistema de coordenadas cilíndricas.
- 2.17 Intensidad de rayos gama de una fuente en forma de placa de espesor diferencial  $dT$ .

### Figuras:

- 2.18 Curva de intensidad de rayos gama de una placa como fuente, de espesor  $dT$ .
- 2.19 Curva de intensidad de rayos gama de placas como fuente, espesor total  $T$ .
- 2.20 Determinación de espesor y puntos de integración numérica.
- 2.21 Hoja de cálculo.
- 2.22 Determinación de área de colas y área central.
- 3.1 Puerto de Ocampo, Sierra de Coneto, Dgo.
- 3.2 Dique Perla, Sierra de Coneto, Dgo.
- 3.3 Columna estratigráfica, Sierra de Coneto, Dgo.
- 3.4 Sección idealizada de estructura vulcano-tectónica Santiaguillo.
- 3.5 Efecto del tamaño de la fuente y localización en la respuesta de un instrumento terrestre de rayos gama.
- 3.6 Hoja de datos de campo.

## INDICE DE TABLAS

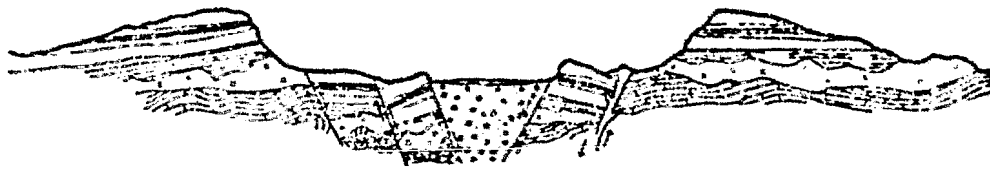
### Tabla:

1. Necesidades de concentrado de uranio.
2. Inversiones para producir el concentrado de uranio.
3. Necesidades de exploración de uranio.
  - 2.1 Isótopos radiactivos que aparecen en forma natural.
  - 2.2 Serie natural radiactiva del torio y del uranio.
  - 2.3 Rayos gama dominantes emitidos por isótopos hijos de  $U_{238}$ .
  - 2.4 Rayos gama dominantes emitidos por isótopos hijos de  $Th_{232}$ .
  - 2.5 Contribución al conteo de las ventanas de un detector de NaI de 76 x 76 mm sobre rocas con 12 ppm  $Th$ , 3 ppm  $eU$  y 3% K.
  - 2.6 Constantes de calibración para un espectrómetro portátil equipado con un cristal de NaI de 76x76 mm.
  - 2.7 Colocación de ventanas recomendados para espectrómetros de 4 canales.
  - 2.8 Contenido de uranio y torio de algunas rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.
  - 2.9 Valores aproximados de cps correspondientes a  $eU_{238}$ .

## INDICE DE PLANOS

### Plano:

- 3.1 Localización del área de estudio.
- 3.2 Acceso.
- 3.3 Geología, Sierra de Coneto y localización de anomalías. Esc. 1:25 000
- 3.4 Cerro Montosa, localización de anomalías, topografía y geología. Esc. 1:5 000
- 3.5 Anomalia Pinito 1-Metate c/t Esc. 1:250
- 3.6 Anomalia Pinito 1-Metate Bismuto<sub>214</sub> Esc. 1:250
- 3.7 Anomalia Pinito 1-Metate Talio<sub>208</sub> Esc. 1:250
- 3.8 Anomalia Pinito 1-Metate Bi/Pb Esc. 1:250
- 3.9 Anomalia Pinito 1-Metate, geología, radiometría y programa de perforación. Esc. 1:500
- 3.10 Pinito 1-Metate Sección I-I'
- 3.11 Sección Pinito 1-Metate Sección II-II'
- 3.12 Pinito 1-Metate Sección III-III'
- 3.13 Pinito 1-Metate Secciones Este-Oeste.
- 3.14 Pinito 1-Metate Secciones Norte-Sur.



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL ARRAJERRO MONTAÑOSA MEXICO.

## PROLOGO

La acelerada industrialización de México, aunada a tasas anuales muy altas de crecimiento de la población, impone a su vez tasas muy altas de crecimiento de la demanda energética. En particular, el sector eléctrico deberá crecer, según el plan nacional de industrialización, con tasas anuales del 14%. En estas condiciones, la capacidad instalada del sistema eléctrico en el año 2000 deberá ser de siete a nueve veces mayor que la actual.

Considerando que las plantas de generación eléctrica tardan desde 5 hasta 12 años para realizarse, es necesario desde ahora tener definido en buena medida el programa eléctrico para lo que resta del siglo.

En el año 2000 el consumo anual de electricidad será del orden de los 600 terawatts-hora (twh) desarrollándose aceleradamente, el carbón cubrirá un 10% la hidroelectricidad un 14%, la geotermia un 6%, la nucleoelectricidad un 25% y el restante 45% lo seguirán cubriendo los hidrocarburos.

Para que la nucleoelectricidad cubra ese 25%, será necesario instalar 21,000 megawatts adicionales a Laguna Verde. Esto a su vez requerirá de cuantificar entre 77 y 96 mil toneladas de concentrado de uranio, de las que se tendrán que haber beneficiado entre 29 y 38 mil toneladas para ese año.

Esto indudablemente significará el desarrollo de una gran industria minero-metalúrgica del uranio.

Con objeto de tener un marco que indique los límites que puede alcanzar la diversificación de fuentes primarias en el período de los próximos 20 años,

es conveniente analizar aunque sea someramente las posibilidades a corto y mediano plazo de cada una de las fuentes energéticas más importantes del país.

a) Hidroelectricidad. En 1938, año de la nacionalización del petróleo, el 60% de la capacidad eléctrica instalada en el país correspondía a capacidad hidroeléctrica.

Este porcentaje ha venido bajando gradualmente hasta llegar a un 36.5% a fines de 1979; sin embargo, con la obra de chicoasén, este porcentaje subirá nuevamente en los próximos años. En ese mismo año de 1979, la hidroelectricidad contribuyó con el 30.7%.

Se considera que el potencial hidroeléctrico del país tiene una cuota por razones técnicas y económicas de unos 25,000 MW, que anualmente podrían generar alrededor de 83 TWh, esto corresponde a un valor de sustitución de unos 142 millones de barriles anuales de petróleo (389,000 barriles diarios).

b) Carbón. El carbón en México se ha destinado fundamentalmente para la industria siderúrgica y minero-metalúrgica. Por esta razón, las exploraciones por carbón se realizaron con el ánimo de localizar carbón coquizable.

Sólo recientemente la Comisión Federal de Electricidad se ha dado a la tarea de explorar por carbón tipo "flama larga" que es el utilizado para generar electricidad.

Por lo que respecta al carbón coquizable, las reservas insitu son del orden de 2,800 millones de toneladas, de las cuales aproximadamente un 60% están cubiertas. Estas reservas --

son cercanas, en magnitud, a lo que la industria demandará en los próximos 25 años, pero con una gran incertidumbre según crezca la industria siderúrgica.

Los programas de expansión del sistema eléctrico contemplan la instalación de unos 10,000 MW carboeléctricos en lo que resta del siglo. Este programa demandaría de un poco más de 1200 millones de toneladas de carbón para toda la vida útil de ese programa.

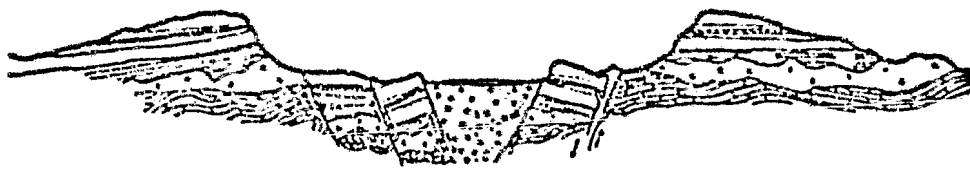
El programa carboeléctrico referido, tendrá un valor de sustitución de aproximadamente 120 millones de barriles de petróleo por año (329,000 barriles diarios).

- C) Geotermia. Aún cuando la geotermia tiene una participación relativamente modesta, no por ello deja de ser importante su potencial absoluto, sobre todo si hablamos de los próximos años. En la actualidad solo existe una capacidad instalada de 150 MW en Cerro Prieto B.C., que se espera incrementar a 180 para 1982 y unos años después hasta 400 MW, en 1979 se generaron 1020 GWH, sustituyendo la quema de 1.75 millones de barriles de petróleo. Aún cuando la tecnología actual no permite conocer con mucha certeza el potencial geotérmico del país, además de haberse destinado hasta la fecha solo recursos modestos, sí se puede asegurar que México es un país con abundantes recursos geotérmicos. La CFE espera desarrollar alrededor de 5000 MW basados en esta fuente de energía para el año 2000. Este programa significaría una sustitución de unos -

60 millones de barriles anuales de petróleo - (164,000 barriles por día).

#### Programa Nucleoeléctrico.

Si hacemos un balance de fuentes primarias de energía para generar electricidad en el año 2000, basándose en el análisis que se hizo de cada alternativa, tenemos el siguiente resultado: La hidroelectricidad, el carbón y la geotermia en conjunto aportarán anualmente 180 TWH, lo que significa el 26.6% de la generación eléctrica, según el escenario I ó el 41.8% según el escenario II. Fig. 1, como puede apreciarse en la figura de balance de fuentes al año 2000 (electricidad), para cubrir la demanda eléctrica, después de utilizar las fuentes alternas y los hidrocarburos al máximo, excepto la nuclear, aún resta un 73.4% en el escenario I y un 58.2% en el escenario II. De aquí se puede concluir la necesidad, desde un punto de vista estrictamente energético, de un programa nucleoeléctrico ambicioso que le reste la mayor participación posible a los hidrocarburos. De hecho, si no se tomaran en cuenta otras consideraciones, el programa nucleoeléctrico debería cubrir el resto de las necesidades de generación eléctrica (excepto las 9,000 MW instalados en la actualidad) y no habría necesidad de quemar hidrocarburos adicionales para ello esto significaría, sin embargo, un programa nucleoeléctrico sumamente intensivo, la instalación de 72,000 MW, nucleares según el escenario I ó de 32,000 MW, según el escenario II, vale la pena observar la participación nuclear en 2000 Fig. 2 (electricidad); con ese programa, incluido Laguna Verde, tendría la energía nucleoeléctrica en el balance de fuentes primarias para generación eléctrica en el



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTAÑOSA MEXICO.

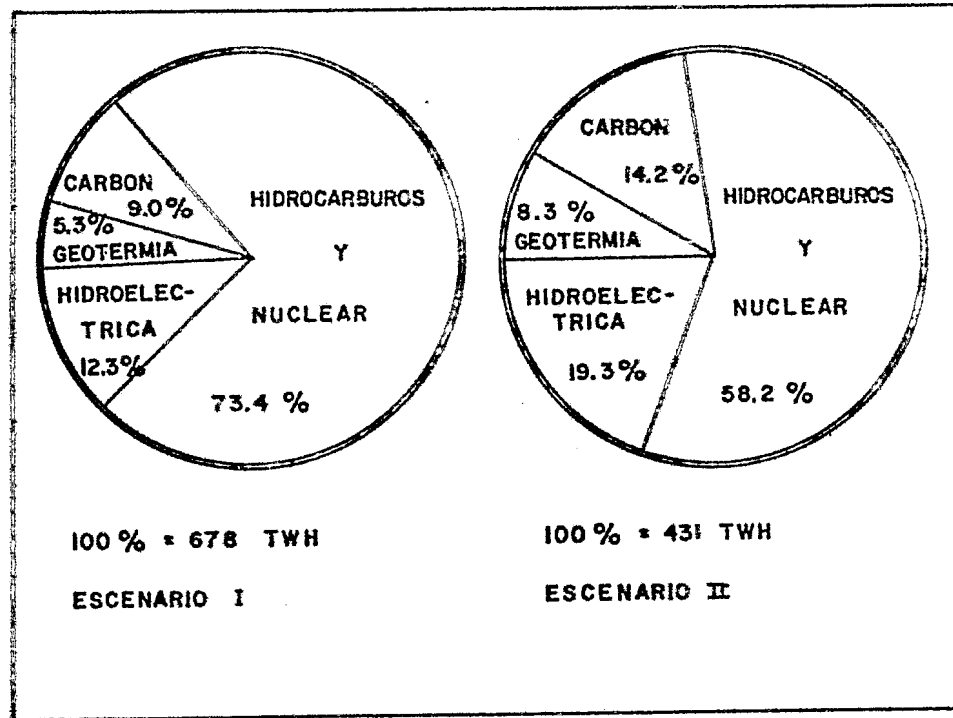


FIGURA 1 - BALANCE DE FUENTES EN 2000 (electricidad).

año 2000. Con un valor de sustitución de 251 millones de barriles de petróleo anuales (688,000 barriles por día). la nucleoelectricidad cubriría el 22.7 % de la generación eléctrica, según el escenario I y 35.7% el escenario II.

Necesidades de Exploración, Minería y Metalurgia de Uranio.

Las necesidades de concentrado de uranio para un programa nucleoelectrónico son función no solamente de

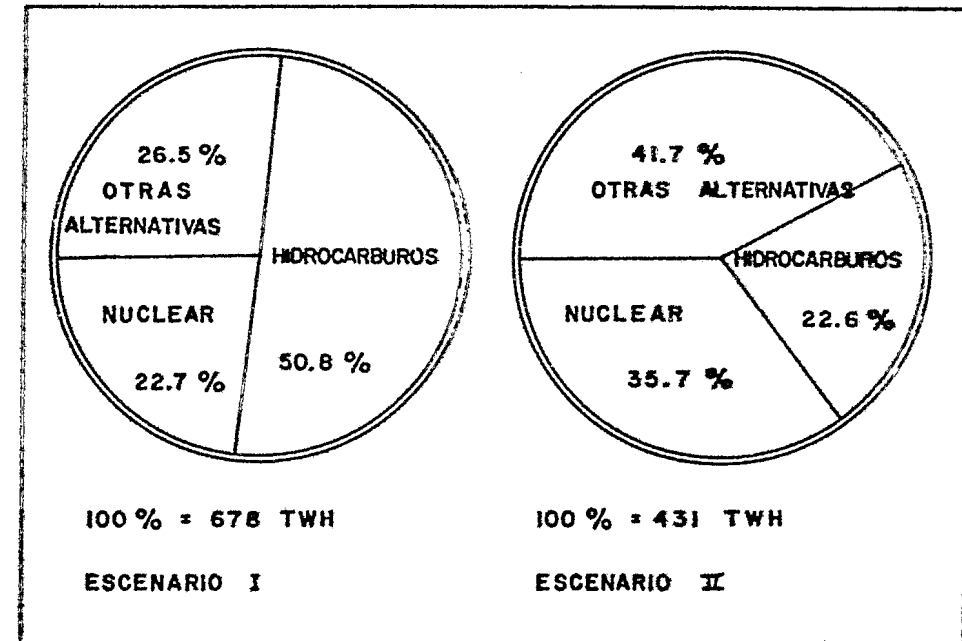
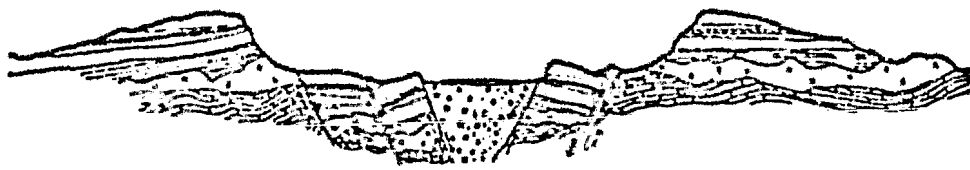


FIGURA 2.- PARTICIPACION NUCLEAR EN 2000 (electricidad)

la magnitud del programa, sino también del tipo de reactor que se utilice, ya que utilizando diferentes ciclos del combustible, la eficiencia para utilizar el uranio fisil (el que se puede fisiónar en los reactores) también es variable.

Para cualquier tipo de reactor (térmico como todos los que ahora son comerciables), el ciclo del combustible es igual en los primeros pasos, que son como cualquier mineral, la exploración, la explotación y el beneficio, al terminar éste paso se obtiene el concentrado de uranio, conocido también por "pasta amarilla", "torta amarilla" o en su nombre en inglés "yellow cake". Esta es la materia prima utilizada en los diferentes ciclos del combustible y es la forma comercial en que se puede obtener en el mercado mundial. Tabla 1 y Tabla 2. Las necesidades -



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL ARREA GERRO MONTOSA MEXICO.

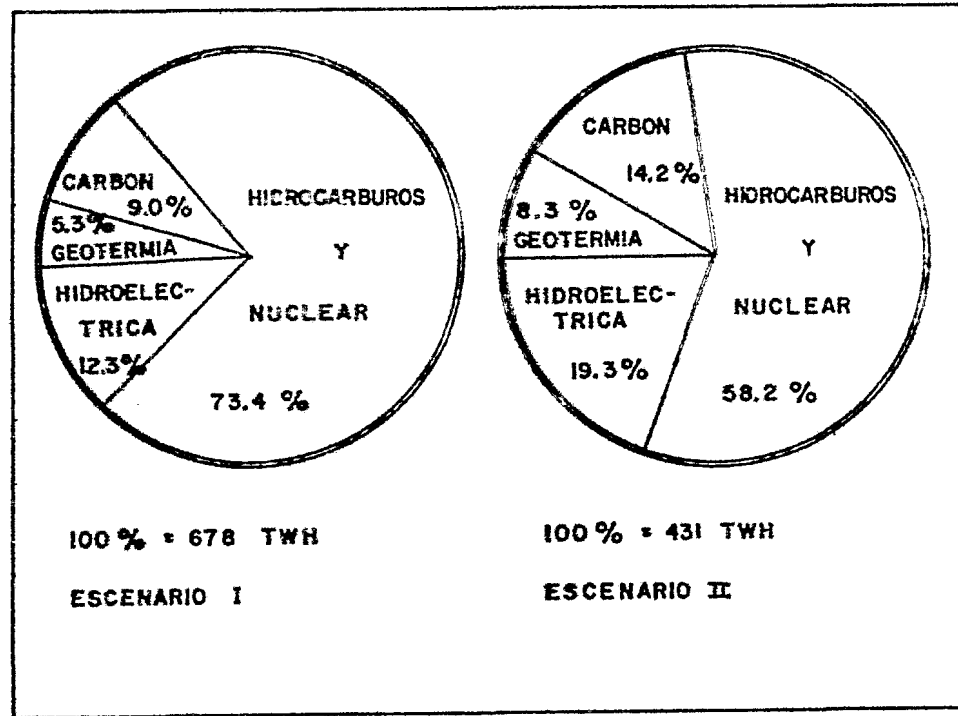


FIGURA 1 - BALANCE DE FUENTES EN 2000 (electricidad).

año 2000. Con un valor de sustitución de 251 millones de barriles de petróleo anuales (688,000 barriles por día). la nucleoelectricidad cubriría el 22.7% de la generación eléctrica, según el escenario I y 35.7% el escenario II.

Necesidades de Exploración, Minería y Metalurgia de Uranio.

Las necesidades de concentrado de uranio para un programa nucleoelectrico son función no solamente de

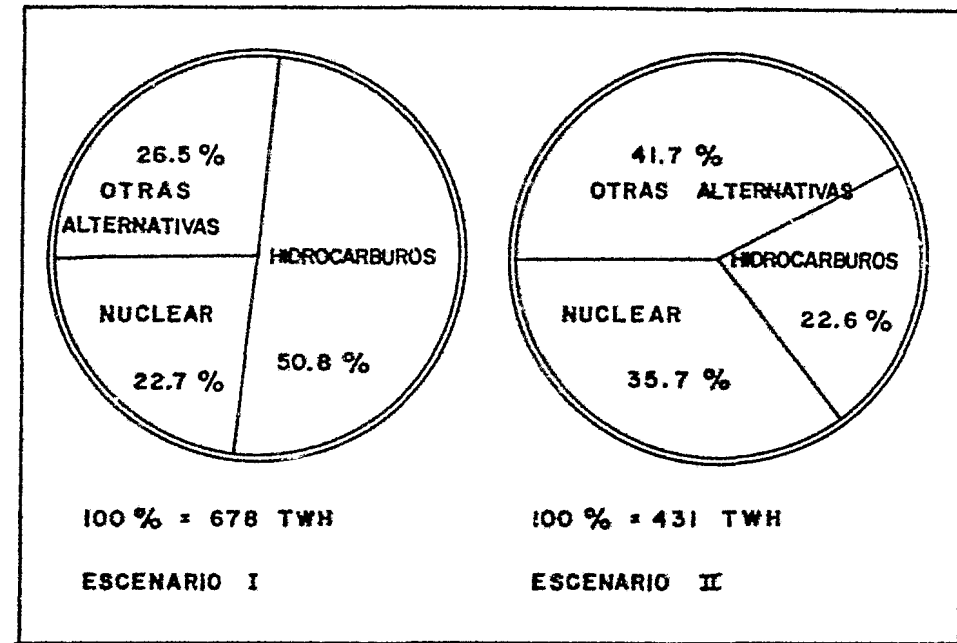


FIGURA 2.- PARTICIPACION NUCLEAR EN 2000 (electricidad)

la magnitud del programa, sino también del tipo de reactor que se utilice, ya que utilizando diferentes ciclos del combustible, la eficiencia para utilizar el uranio fisil (el que se puede fisiónar en los reactores) también es variable.

Para cualquier tipo de reactor (térmico como todos los que ahora con comerciables), el ciclo del combustible es igual en los primeros pasos, que son como cualquier mineral, la exploración, la explotación y el beneficio, al terminar éste paso se obtiene el concentrado de uranio, conocido también por "pasta amarilla", "torta amarilla" o en su nombre en inglés "yellow cake". Esta es la materia prima utilizada en los diferentes ciclos del combustible y es la forma comercial en que se puede obtener en el mercado mundial. Tabla 1 y Tabla 2. Las necesidades -

CONCENTRADO DE URANIO PARA EL PROGRAMA DE REFERENCIA						
AÑO	CON SISTEMA BWR		CON SISTEMA CANDU		CON SISTEMA PWR	
	ANUAL	ACUMULADO	ANUAL	ACUMULADO	ANUAL	ACUMULADO
1981	413	413	413	413	413	413
1985	242	1431	242	1431	242	1431
1990	1057	5349	736	3625	1029	4656
1995	3159	17825	2391	11928	3352	16484
2000	4102	36977	3727	28870	5129	37863

Se incluyen los cargos necesarios para la planta de Laguna Verde.  
Cantidades en TON U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>.

TABLA 1.- NECESIDADES DE CONCENTRADO DE URANIO

INVERSIONES TOTALES PARA PRODUCIR EL CONCENTRADO (GASTOS CAPITALES, CORRIENTES)		
	MILES DE MILLONES PESOS	%
COSTO TOTAL	50 - 67	100
EXPLORACION	3.7 - 4.9	7.3
MINERIA	32.5 - 43.5	64.9
BENEFICIO	7.0 - 9.3	13.9
AMORTIZACIONES	7.0 - 9.3	13.9

INVERSIONES CAPITALES PARA MINERIA Y BENEFICIO =  
12 475 - 35 520 millones de pesos.

COSTOS A PRECIOS DE 1981

TABLA 2.- INVERSIONES PARA PRODUCIR EL CONCENTRADO DE URANIO

de exploración se muestran en la Tabla 3, esto muestra la cantidad de uranio que debe estar descubierto cada año, suponiendo que el mineral debe estar cubierto *In situ* diez años antes de utilizarse como combustible y que la recuperación global será de 85%. En esta Tabla 3 no se toma en cuenta las primeras "cargas" para Laguna Verde, ya que ese uranio fue adquirido en el extranjero.

AÑO	NECESIDADES DE EXPLORACION PARA EL PROGRAMA DE REFERENCIA* (TON U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )					
	CON SISTEMA BWR		CON SISTEMA CANDU		CON SISTEMA PWR	
	ANUAL	ACUMULADO	ANUAL	ACUMULADO	ANUAL	ACUMULADO
1980	1,244	5,322	866	3,795	1,210	4,525
1985	3,717	20,108	2,813	13,064	3,944	17,638
1990	4,826	42,641	4,383	32,997	6,055	43,841
1995	4,826	66,772	4,385	54,920	5,370	69,877
2000	4,826	90,903	4,385	76,847	5,148	95,627

\*Incluyendo las recargas necesarias para la planta de Laguna Verde, excepto la primera carga de los dos reactores, en la columna de necesidades ACUMULADAS, ya que ese uranio fue adquirido anteriormente.

TABLA 3 NECESIDADES DE EXPLORACION DE URANIO





# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA CERRO MONTOSA MEXICO.

## 1.- INTRODUCCION.

1.1.- ANTECEDENTES.- en el año de 1976 en la Delegación de Uranio Mexicano para los Estados de Coahuila y Durango (antes Superintendencia del Instituto Nacional de Energía Nuclear), se programaron exploraciones espectrométricas gama-geológicas en la porción central del Estado de Durango con el propósito de localizar manifestaciones de minerales de uranio. Este programa se llevó a cabo con un espectrómetro diferencial de rayos gama modelo DIGRS-1002 -- montado en un vehículo de doble tracción auxiliado -- de un cintilómetro portátil modelo SC-131-A. Al iniciar el programa se trataba de explorar todos los lugares de acceso al vehículo empleado, modificando el criterio poco después enfocandolo a las rocas volcánicas extrusivas de tipo ácido similares al yacimiento de la mina El Mezquite localizada a 16 km al E -- del poblado de Rodeo, Dgo. (plano 3.1 y 3.2).

A través de éste programa se localizaron los altos espectrométricos denominados Comonfort y Alhelies. Observando que en ésta zona hay grandes porciones del tipo de roca favorable para la acumulación de minerales de uranio, se implantaron programas de barrido sistemático radiométrico terrestre para el mes de junio de 1977 obteniendo resultados inmediatos localizando las Anomalías Moreda 1 y San Antonio 1 ambas cercanas al Puerto de Coneto, detectando en la segunda Anomalía presencia de mineral secundario de uranio con valores superiores a 10,000 cps (cuentas por segundo), reportando un tenor de 2.5Kg/ton de  $U_3O_8$ .

A partir de éstas manifestaciones se localizaron 54 anomalías, las que se clasificaron de acuerdo a -

la litología, estructura, intensidad radiométrica, presencia de mineral, extensión, accesibilidad y factibilidad.

Una vez ubicadas el total de anomalías en un plano general de la Sierra de Coneto, plano 2.3, es objeto de atención el hecho de que en el área del Cerro Montosa se tienen 10 anomalías circundantes a dicha estructura, plano 2.4, además muy cercano se tiene el Cerro Metate con 3 anomalías. Se efectuaron estudios espectrométricos y geológicos de detalle en cada una de las anomalías, así como planos geológicos de semidetalle.

1.2.- OBJETIVOS.- Apoyándose en la información geológico-estructural y los estudios espectrométricos de semidetalle y detalle se trata de definir si las anomalías localizadas son manifestaciones aisladas de minerales radioactivos o tienen alguna relación estratigráfica, estructural y radiométrica; -- asimismo la potencialidad, evaluación y factibilidad económica del área de estudio.

El segundo objetivo, no menos importante, es el de establecer una secuencia y metodología de trabajo en el estudio espectrométrico y registros de rayos gama, en la planeación, operación, cálculo e interpretación de una zona de interés.

Para lograr el segundo objetivo es necesario tener las bases teóricas necesarias, por lo que se hace mención de todas las propiedades físicas y químicas que involucran al método.

## 2.- ESPECTROMETRIA Y GEOLOGIA DE URANIO Y TORIO.

### 2.1.- PRINCIPIOS DE RADIOACTIVIDAD.

### 2.1.1.- CONSTITUYENTES DE LOS NUCLEOS.

A) Introducción.- Aún cuando mucho del trabajo original sobre emanaciones de sustancias radioactivas fue hecho por Rutherford a principios de siglo, y otros alrededor de los años '70<sup>s</sup>, la fuente, o sea el núcleo del átomo, no fue bien entendido en éste tiempo. Ahora se considera el núcleo como fuente principal y sus partes elementales.

B) Átomos.- El átomo, es la parte fundamental de todo elemento, consiste de un núcleo denso, pequeño (aproximadamente  $10^{-13}$  cm de radio), y cargado positivamente en un número igual a la carga nuclear. Los arreglos se piensa que son similares al del sistema solar.

C) Protones.- El núcleo está compuesto de un paquete de protones y neutrones. El protón tiene una unidad de carga positiva, tiene una masa de 1.00812 sobre la escala física (0=16.000...) la masa en cgs. es de  $1.7 \times 10^{-24}$  g. El número de protones en un núcleo determina el elemento por sí mismo. Por ejemplo, el primer elemento en la tabla periódica, el hidrógeno, tiene un protón, el oxígeno tiene 8, el cadmio 48, hasta llegar al uranio con 92 protones.

D) Neutrones.- La otra partícula del núcleo es el neutrón tiene carga cero y es ligeramente de mayor masa que el protón (1.00893). El único elemento carente de neutrones es el hidrógeno común. Como todo esto procede a través de la tabla periódica, la relación del número de neutrones a el número de protones aumentará de 1 a cerca de 1.5. De acuerdo a lo anterior el helio tiene dos neutrones y dos protones, mientras que el uranio contiene 146 neutrones y

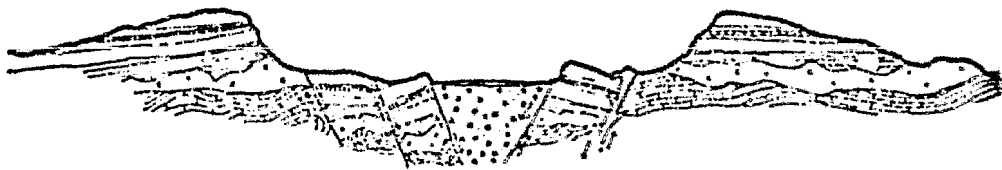
92 protones.

E) Isótopos.- La mayoría de los elementos están compuestos de una mezcla de núcleos teniendo diferente número de neutrones, el número de protones, por supuesto, siendo el mismo. Estos elementos son llamados isótopos, es decir, una forma del mismo elemento teniendo diferente peso atómico. Prácticamente toda la masa de un elemento está contenida en el núcleo, dado que es determinada por el número de protones y neutrones, por ejemplo: el hidrógeno es una mezcla de dos isótopos  ${}_1\text{H}^1$ ,  ${}_1\text{H}^2$  el cual es un protón simple con 99.985% de abundancia y el que es un protón y un neutrón, familiarmente conocido como el deuterio con 0.015% de abundancia. El titanio tiene 5 isótopos, el estaño tiene 10, el tungsteno 5, el plomo 4, etc.

F) Partículas Alfa ( $\alpha$ ).- Actualmente se consideran como el equivalente de núcleos de helio;  $2p + 2n$  el nombre fue atribuido cuando la radioactividad empezaba a conocerse, después la naturaleza de éstas partículas fue entendida. Estas partículas tienen una carga +2, masa de 4.00389 y es frecuentemente un fenómeno estrechamente ligado dentro de núcleos más pesados que el helio.

Estas partículas pueden ser lanzadas del núcleo durante la desintegración.

G) Electrones (Rayos  $\beta$ ).- El constituyente exterior es el electrón, tiene una carga -1 y masa cerca a 1/1840 la del protón. Aún cuando el electrón no existe como una entidad separada en el núcleo, éste es lanzado en ciertas desintegraciones nucleares cuando un neutrón se fisiona en un protón y un elec-



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO., MEXICO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA.

EN EL AREA GERRO MONTOSA.

trón, el protón permanece en el núcleo. Esta transmutación resulta en una ganancia de +1 unidad de carga y prácticamente cambio de masa cero, es decir, el elemento se mueve un lugar hacia arriba en la tabla periódica. El electrón lanzado del núcleo fue originalmente llamada partícula o rayo beta ( $\beta$ ).

H) Radiación Gama ( $\gamma$ ). - Durante la desintegración nuclear, una radiación electromagnética pura representando un exceso de energía, es frecuentemente emitido por el núcleo excitado. El primer nombre asignado de rayos gama es completamente apropiado en este caso ya que en realidad los rayos alfa y beta son en realidad partículas discretas. Los rayos gamma difieren de los rayos X sólo en nombre, aún cuando usualmente el último término es usado para radiación de baja energía. La localización relativa de los rayos gama en el espectro electromagnético es ilustrado en la Fig. 2.1.

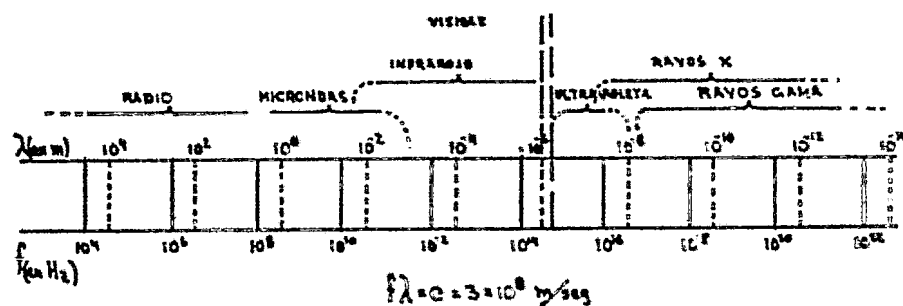


FIGURA 2.1 .- ESPECTRO ELECTROMAGNETICO CON LAS BANDAS DE FRECUENCIA RELATIVAS.

## 2.1.2.- DESINTEGRACION NUCLEAR.

Una vez que tuvo consico los primeros trabajos de física nuclear, Sir Ernest Rutherford investigó las radiaciones de elementos radioactivos de ocurren

cia natural y mostró que éstas consistían de los tres efectos diferentes en grados variables, especialmente:

- A) Afectan las emulsiones fotográficas de la misma forma que la luz y los rayos X.
- B) Ionizan el gas, haciéndole eléctricamente conductor.
- C) Producen cintilización o fosforescencia en ciertos minerales y compuestos químicos.

Estos tres efectos son usados en prospección geofísica por el método radioactivo.

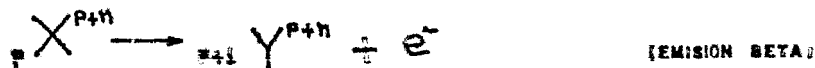
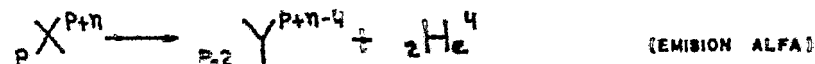
Los tres rayos características de la desintegración nuclear natural tienen muy diferente poder de penetración: Los rayos alfa son fácilmente parados por una hoja de papel, los rayos beta por unos pocos milímetros de aluminio, mientras que la radiación gamma requiere varias pulgadas de plomo. El recorrido equivalente en rocas compactas para los dos primeros es prácticamente cero y no más de 30 a 70 cm de roca para los rayos gama.

En efecto, éste recorrido es una función complicada de la energía y carácter de las partículas o radiación y de la densidad o número atómico de medio a través del cual pasa. Es claro que el recorrido varía de acuerdo a la energía inicial y la cantidad de disipación de energía. Este es un proceso complejo de dispersión, colisión y absorción involucrando a los átomos del material huésped y resultando una ionización a lo largo de la trayectoria. Las partículas alfa y beta, producen una fuerte ionización, las radiaciones electromagnéticas (rayos alfa, rayos X) al no tener masa no la producen.

La energía máxima en desintegración natural es -

generalmente menor de 3 MeV (1 MeV =  $10^6$  electrón - volts, es la energía requerida por una partícula de carga unitaria, cayendo a través de un potencial de  $10^6$  volts). Aún en el aire, el recorrido de partículas alfa y beta de 3.0 MeV es solo de unos cuantos centímetros respectivamente. Por otro lado, -- los rayos gama con esta energía viajarán varios cientos de metros en el aire.

En adición a las emisiones alfa, beta y gama, -- hay otro tipo de transmutaciones nucleares llamadas captura - K (ver Tabla 2.1 y Fig. 2.2), lo cual ocurre en varios de los radioelementos naturales. En este proceso un electrón de la órbita K penetra el núcleo, el cual por ésta razón emite rayos gama; como un resultado de la captura del electrón el número atómico decrece en uno y un elemento diferente es creado. Las ecuaciones que representan la transición de un elemento X a uno Y por emisión de rayos alfa y beta y captura de electrones está dado por:



### 2.1.3.- PROCESO DE DECAIMIENTO RADIOACTIVO.

En 1902 Rutherford y Soddy anunciaron la teoría de transformación radiactiva, en la cual establecen -- que cuando un elemento emite rayos alfa y beta, éste fue transmutado a un nuevo elemento, la velocidad de desintegración es característica de cada núcleo radiactivo. Se demuestra que la velocidad de cambio es proporcional al número de átomos presente y no es

ELEMENTO	ISOTOPO	ABUNDANCIA %	VIDA MEDIA (años)	TIPO DE RADIACION	ENERGIA (MeV)
Potassium	${}_{19}K^{40}$	0.012	$1.3 \times 10^9$	$\beta, K - cap + \gamma$	1.46
Calcium	${}_{20}Ca^{40}$	0.18	$> 2 \times 10^{10}$	$\beta$	0.12
Vanadium	${}_{23}V^{50}$	0.24	$6 \times 10^{16}$	$\beta, K - cap + \gamma$	0.71, 1.59
Rubidium	${}_{37}Rb^{87}$	27.8	$4.7 \times 10^{10}$	$\beta$	0.27
Indium	${}_{49}In^{115}$	95.72	$6 \times 10^{14}$	$\beta$	0.60
Lanthanum	${}_{57}La^{138}$	0.089	$1.1 \times 10^{11}$	$\beta, K - cap + \gamma$	0.54, 0.81, 1.43
Cerium	${}_{58}Ce^{140}$	11.1	$1 \times 10^{14}$	$\alpha$	1.5
Neodymium	${}_{60}Nd^{144}$	23.8	$2 \times 10^{16}$	$\alpha$	1.8
Samarium	${}_{62}Sm^{147}$	15.1	$10^{11}$	$\alpha$	2.32
Samarium	${}_{62}Sm^{148}$	11.2	$1.2 \times 10^{12}$	$\alpha$	2.14
Samarium	${}_{62}Sm^{149}$	13.8	$\sim 4 \times 10^{17}$	$\alpha$	1.84
Gadolinium	${}_{64}Gd^{152}$	0.2	$1.1 \times 10^{14}$	$\alpha$	2.24
Lutecium	${}_{71}Lu^{176}$	2.6	$4 \times 10^{10}$	$\beta, \gamma$	0.088, 0.20, 0.31
Hafnium	${}_{72}Hf^{176}$	0.16	$2 \times 10^{10}$	$\alpha$	2.5
Rhenium	${}_{75}Re^{187}$	62.9	$5 \times 10^{10}$	$\beta$	0.0026
Platinum	${}_{78}Pt^{190}$	0.013	$6 \times 10^{11}$	$\alpha$	3.11
Platinum	${}_{78}Pt^{198}$	0.78	$\sim 10^{16}$	$\alpha$	2.6
Lead	${}_{82}Pb^{204}$	1.48	$1.4 \times 10^{10}$	$\alpha$	3.95, 4.01, 0.06
Thorium**	${}_{90}Th^{232}$	100	$1.39 \times 10^{10}$	$\alpha, \beta, \gamma$	0.03-2.62
Uranium**	${}_{92}U^{238}$	0.72	$7.1 \times 10^8$	$\alpha, \beta, \gamma$	0.02-0.9
Uranium**	${}_{92}U^{235}$	99.3	$4.5 \times 10^8$	$\alpha, \beta, \gamma$	0.4-2.5

\* CAPTURA K-ELECTRON SEGUIDO POR LA EMISION DE UN RAYO GAMA  
 \*\* CADA UNO DE ESTOS PASA POR UNA SERIE DE DESINTEGRACIONES DANDO RESPECTIVAMENTE ISOTOPOS DE PLOMO 208, 207 Y 206. DURANTE ESTAS DESINTEGRACIONES NUMEROSOS RAYOS GAMA SON EMITIDOS, EN ADICION A LAS PARTICULAS ALFA Y BETA.

TABLA 2.1.- ISOTOPOS RADIOACTIVOS QUE OCURREN EN FORMA NATURAL

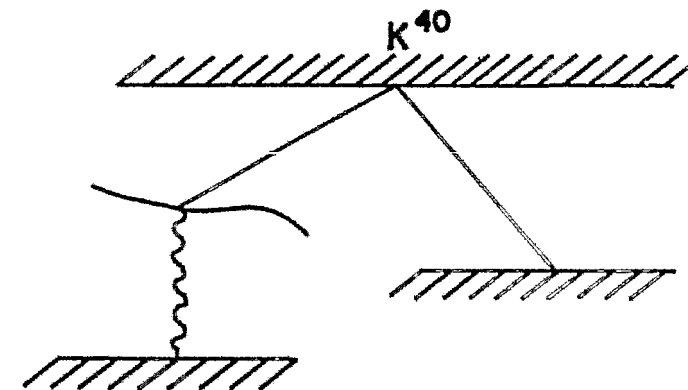


FIGURA 2.2.- DIAGRAMA DE NIVEL DE ENERGIA PARA EL POTASIO RADIOACTIVO.



afectado por procesos físicos o químicos de los alrededores.

Por lo tanto, para cualquier tipo de átomo radiactivo, se tiene la relación:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad \dots\dots\dots (2.0)$$

donde N es el número de átomos presente en el tiempo t y  $\lambda$  es una constante de decaimiento la cual es característica de cada elemento. Por lo tanto:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt, \quad \text{ó} \quad N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \dots\dots (2.1)$$

donde  $N_0$  es el número de átomos en un tiempo arbitrario  $t=0$  si T 1/2 es el tiempo requerido para que la mitad de los núcleos se desintegren, se tiene:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}, \quad \text{ó} \quad \lambda = (\log 2) / T_{1/2} = 0.693 / T_{1/2} \quad \dots\dots (2.2)$$

Los valores de vida media de núcleos radiactivos varía enormemente, desde el  ${}_{84}\text{Po}^{212}$  con aproximadamente  $10^{-7}$  segundos al  ${}_{82}\text{Pb}^{204}$  con aproximadamente  $10^9$  años. Obviamente una vida media corta va con una velocidad vigorosa de desintegración, mientras que el isótopo de plomo mencionado anteriormente, es para propósito prácticos estable, la velocidad de desintegración será de tres a cuatro núcleos por semana por gramo.

Solamente se considera al uranio, torio y potasio como elementos radiactivos de significado práctico en prospección. El potasio es el principal aporte

cuando se explora los otros dos, así cuando el  ${}^{232}\text{Th}$  de potasio-40 es, aparentemente, no más abundante que el uranio o el torio, más bien es la ocurrencia-diseminada de rocas con alto contenido de potasio y particularmente la presencia de éstas con el U y el Th, las que crean el problema un poco análogo al del grafito con los sulfuros en prospección eléctrica. - Ejemplo: pegmatitas.

Nótese en las Tablas 2.1 y 2.2 que las tres series radiactivas para uranio y torio, empiezan con  ${}_{90}\text{Th}^{232}$ ,  ${}_{88}\text{Ra}^{226}$  (último de la serie del actinio) y  ${}_{92}\text{U}^{238}$ . Todas ellas terminan en isótopos de plomo, con 10, 15 y 13 etapas radiactivas intermedias respectivamente.

Es útil calcular el número de átomos hijos presentes a cualquier tiempo dando el número del átomo original al tiempo  $t = 0$ . El número de átomos originales separados en un tiempo posterior t serán:  $N_1 e^{-\lambda_1 t}$ , donde  $\lambda_1$ , es su constante de decaimiento. Pero la velocidad de decaimiento de los átomos originales  $dN_1/dt = -\lambda_1 N_1$ , exactamente la velocidad de producción de los hijos. Al mismo tiempo los átomos hijos están desintegrándose a una velocidad  $\lambda_2 N_2$  donde  $N_2$  es el número presente al tiempo t y  $\lambda_2$  es su constante de decaimiento. De aquí que la velocidad de acumulación de los átomos hijos es la diferencia entre la producción o decaimiento, o

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_0 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2 \quad \dots\dots (2.3)$$

se puede resolver esta ecuación acurriendo:

$$N_2 = A e^{-\lambda_1 t} + B e^{-\lambda_2 t}$$

con la condición que, cuando  $t = 0$ ,  $N_2 = 0$ . El resultado es:

$$N_2 = \frac{\lambda_1 N_0}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \quad \text{-----} (2.4)$$

Este cálculo puede ser efectuado por los miembros sucesivos de la serie. El número de átomos del producto enésimo producido después del tiempo  $t$  es dado por:

$$N_n = C_1 e^{-\lambda_1 t} + C_2 e^{-\lambda_2 t} + \dots + C_n e^{-\lambda_n t} \quad (2.4a)$$

dónde:

$$C_1 = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1} N_0 / (\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1),$$

$$C_2 = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1} N_0 / (\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_n - \lambda_2),$$

.....

$$C_n = \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{n-1} N_0 / (\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n).$$

#### 2.1.4.- EQUILIBRIO RADIOACTIVO.

De la ecuación (2.3), se observa que cuando las series están en equilibrio, se tiene:

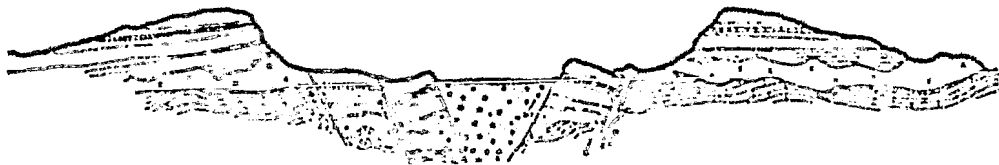
$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \lambda_3 N_3 = \dots = \lambda_n N_n \quad \text{-----} (2.5)$$

La ecuación anterior demuestra, que en equilibrio el número de átomos hijos desintegrándose por segundo es el mismo número que está siendo creado por desintegración de los padres. Este estado del equilibrio radioactivo merece mayor explicación. Considerando el radio y radón, que son los productos intermedios sucesivos en la serie de  $U^{235}$ , y que se puede ver en la Tabla 2.2 y Fig. 2.3,  ${}_{88}Ra^{223}$  y  ${}_{86}Rn^{219}$ . -- Aquí los productos hijos decaen cerca de  $10^5$  veces -

Element	Isotope	Half-life	Decay constant sec <sup>-1</sup>	Radiation	γ-ray energies (MeV)	No. of γ-rays
Thorium	${}_{90}Th^{232}$	1.4 × 10 <sup>10</sup> yr	1.58 × 10 <sup>-18</sup>	α, SF*, γ	0.059	
Radium	${}_{88}Ra^{228}$	5.7 yr	3.3 × 10 <sup>-9</sup>	β, γ	0.03	
Actinium	${}_{89}Ac^{228}$	6.1 hr	3.1 × 10 <sup>-4</sup>	β, γ	0.06-0.97	>10
Thorium	${}_{90}Th^{230}$	1.91 yr	1.15 × 10 <sup>-8</sup>	α, γ	0.085-0.214	5
Radium	${}_{88}Ra^{226}$	3.64 day	2.2 × 10 <sup>-6</sup>	α, γ	0.24, 0.29	
Radon	${}_{86}Rn^{222}$	51 sec	1.3 × 10 <sup>-3</sup>	α, γ	0.54	
Polonium	${}_{84}Po^{218}$	0.16 sec	4.3	α		
Lead	${}_{82}Pb^{214}$	10.6 hr	1.8 × 10 <sup>-6</sup>	β, γ	0.11-0.41	5
Bismuth	${}_{83}Bi^{214}$	60.6 min	1.9 × 10 <sup>-4</sup>	β, α, γ	0.04-2.2	>10
Polonium	${}_{84}Po^{214}$	0.3 × 10 <sup>-6</sup> sec	2.3 × 10 <sup>6</sup>	α		
Thallium	${}_{81}Tl^{208}$	3.1 min	3.7 × 10 <sup>-3</sup>	β, γ	0.28-2.62	5
Lead	${}_{82}Pb^{208}$	Stable				
Uranium	${}_{92}U^{238}$	7.1 × 10 <sup>8</sup> yr	3.1 × 10 <sup>-17</sup>	α, SF*, γ	0.07-0.38	10
Thorium	${}_{90}Th^{232}$	25.6 hr	7.4 × 10 <sup>-4</sup>	β, γ	0.08-0.31	>10
Protact.	${}_{91}Pa^{231}$	3.4 × 10 <sup>4</sup> yr	6.5 × 10 <sup>-16</sup>	α, γ	0.29-0.36	>10
Actinium	${}_{89}Ac^{227}$	21.6 yr	10 <sup>-9</sup>	β, α, γ	0.09-0.19	9
Thorium	${}_{90}Th^{230}$	18.2 day	4.35 × 10 <sup>-7</sup>	α, γ	0.05-0.33	>10
Francium	${}_{87}Fr^{223}$	22 min	5.2 × 10 <sup>-4</sup>	β, α, γ	0.05-0.31	4
Radium	${}_{88}Ra^{226}$	11.7 day	6.76 × 10 <sup>-7</sup>	α, γ	0.03-0.45	>10
Radon	${}_{86}Rn^{222}$	4 sec	0.17	α, γ	0.27, 0.4	
Astatine	${}_{85}At^{218}$	54 sec	1.28 × 10 <sup>-3</sup>	α, β		
Polonium	${}_{84}Po^{218}$	1.8 × 10 <sup>-6</sup> sec	3.8 × 10 <sup>6</sup>	α, β		
Astatine	${}_{85}At^{218}$	10 <sup>-6</sup> sec	6.9 × 10 <sup>6</sup>	α		
Bismuth	${}_{83}Bi^{214}$	8 min	1.44 × 10 <sup>-3</sup>	β		
Bismuth	${}_{83}Bi^{214}$	2.15 min	5.35 × 10 <sup>-3</sup>	α, β, γ	0.35	
Polonium	${}_{84}Po^{214}$	0.52 sec	1.32	α, γ	0.56, 0.88	
Lead	${}_{82}Pb^{214}$	36 min	3.2 × 10 <sup>-4</sup>	β, γ	0.065-0.83	4
Thallium	${}_{81}Tl^{208}$	4.8 min	2.4 × 10 <sup>-3</sup>	β, γ	0.89	
Lead	${}_{82}Pb^{208}$	Stable				
Uranium	${}_{92}U^{238}$	4.51 × 10 <sup>9</sup> yr	4.9 × 10 <sup>-18</sup>	α, SF*, γ	0.048	
Thorium	${}_{90}Th^{234}$	24.1 day	3.3 × 10 <sup>-7</sup>	β, γ	0.03-0.09	3
Protact.	${}_{91}Pa^{234}$	6.7 hr	2.84 × 10 <sup>-6</sup>	β, γ	0.044-1.85	>10
Uranium	${}_{92}U^{234}$	2.48 × 10 <sup>5</sup> yr	8.9 × 10 <sup>-16</sup>	α, SF*, γ	0.053, 0.118	
Thorium	${}_{90}Th^{232}$	8 × 10 <sup>4</sup> yr	2.75 × 10 <sup>-10</sup>	α, γ	0.068-0.25	7
Radium	${}_{88}Ra^{226}$	1622 yr	1.35 × 10 <sup>-11</sup>	α, γ	0.19-0.64	4
Radon	${}_{86}Rn^{222}$	3.82 day	2.07 × 10 <sup>-6</sup>	α, γ	0.51	
Polonium	${}_{84}Po^{218}$	3.05 min	3.8 × 10 <sup>-3</sup>	α, β		
Astatine	${}_{85}At^{218}$	1.35 sec	0.51	α		
Radon	${}_{86}Rn^{218}$	0.03 sec		α	0.61	
Bismuth	${}_{83}Bi^{214}$	19.7 min	5.85 × 10 <sup>-4</sup>	β, α, γ	0.45-2.43	>10
Polonium	${}_{84}Po^{214}$	1.64 × 10 <sup>-6</sup> sec	4.2 × 10 <sup>6</sup>	α		
Lead	${}_{82}Pb^{214}$	26.8 min	4.3 × 10 <sup>-4</sup>	β, γ	0.05-0.35	>10
Lead	${}_{82}Pb^{210}$	21 yr	1.05 × 10 <sup>-6</sup>	β, γ	0.047	
Bismuth	${}_{83}Bi^{210}$	5 day	1.58 × 10 <sup>-6</sup>	β		
Polonium	${}_{84}Po^{210}$	138.4 day	5.7 × 10 <sup>-8</sup>	α, γ	0.79	
Thallium	${}_{81}Tl^{210}$	1.3 min	8.85 × 10 <sup>-5</sup>	β, γ	0.3, 0.78, 1.1	
Thallium	${}_{81}Tl^{208}$	4.2 min		β		
Lead	${}_{82}Pb^{208}$	Stable				

SF\* = spontaneous fission.

TABLA 2.2 .-SERIE NATURAL RADIOACTIVA DEL TORIO Y URANIO .



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE GONNETO, DGO. MEXICO.

Y APLICACION EN LA ARREA GERRO MONTEOSA.

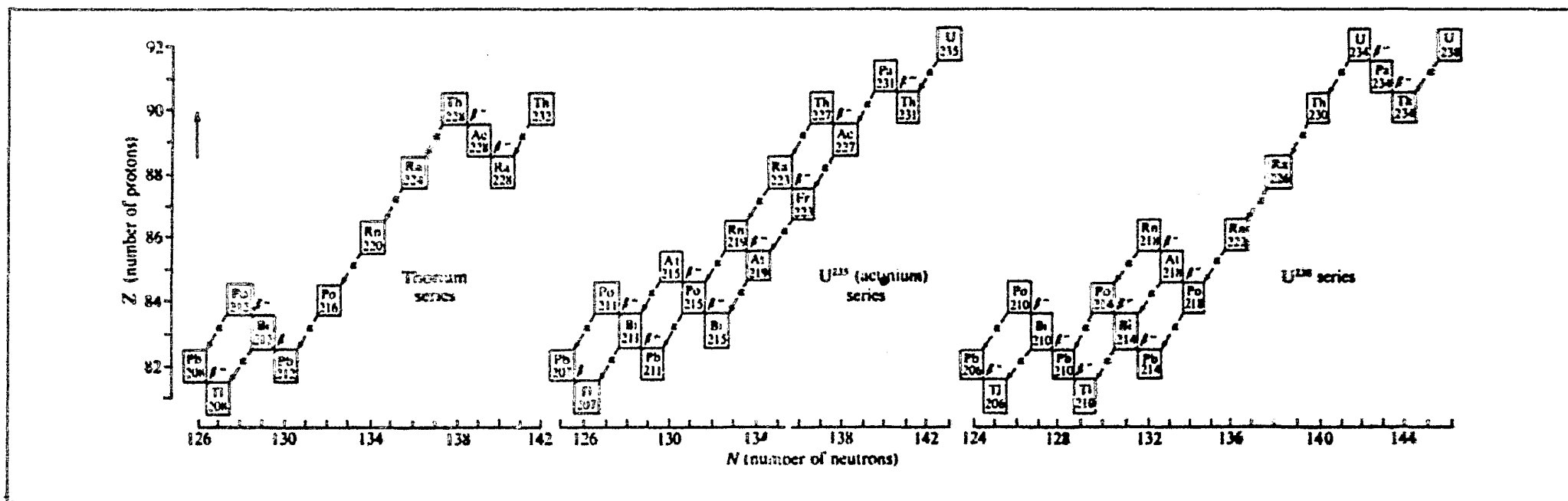


FIGURA 2.3.- SERIE RADIATIVA DE URANIO Y TORIO

más rápido que sus padres. Si se empieza con una muestra de radio puro, se encontrará que la velocidad de decaimiento es prácticamente constante para el primer o segundo día, ya que la vida media es alrededor de 12 días. Al mismo tiempo la sustitución de átomos de radón está compensándose a la misma velocidad, aún cuando el radón está decayendo considerablemente más rápido que el radio. De las ecuaciones (2.1) y (2.4) se puede obtener en cualquier tiempo por:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$$

Cuando el equilibrio ha sido alcanzado:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

En este caso se tiene:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (1 - e^{-(\lambda_1 - \lambda_2)t_{eq}}) \quad \text{ó} \quad e^{-(\lambda_1 - \lambda_2)t_{eq}} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (2.6)$$

de aquí que:

$$t_{eq} = \left( \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \right) \log_3 \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right) \quad (2.6a)$$

$t_{eq}$  - tiempo de equilibrio

para este ejemplo el valor de  $t_{eq}$  es cerca de un minuto, después del cual los dos estarán en equilibrio tanto tiempo como sea la cantidad de radio.

En el caso de una serie con  $n$  productos, el tiempo para alcanzar el equilibrio puede ser encontrado de la ecuación (2.4). Este es:

$$\frac{N_n}{N_1} = k \left( \frac{t}{\delta_1} + \frac{e^{(\lambda_1 - \lambda_2)t}}{\delta_2} + \frac{e^{(\lambda_1 - \lambda_3)t}}{\delta_3} + \dots + \frac{e^{(\lambda_1 - \lambda_n)t}}{\delta_n} \right) = \frac{\lambda_1}{\lambda_n} \quad (2.6b)$$

dónde:

$$k = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_n$$

$$\delta_1 = (\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_n - \lambda_1),$$

$$\delta_2 = (\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_n - \lambda_2),$$

.....

$$\delta_n = (\lambda_1 - \lambda_n)(\lambda_2 - \lambda_n) \dots (\lambda_{n-1} - \lambda_n)$$

Para el torio éste intervalo de tiempo es menor de 100 años, y para las dos series de uranio, del orden de  $10^6$  años. La medición de las series producto, en las cuales la situación de equilibrio es significativa, bajo éstas condiciones es posible determinar la cantidad de producto padre de una muestra midiendo la cantidad de uno de sus miembros subsiguientes.

La Tabla 2.2 y Fig. 2.3 muestran las tres series radioactivas en detalle, con la radiación principal acompañando cada desintegración. La serie del torio tiene un solitario rayo gama de Talio-208 a 2.62 MeV; en la serie del uranio no está bien mencionado los rayos beta aislados, aún cuando los rayos beta de 1.76-MeV del  ${}_{83}\text{H}^{214}$ , son razonablemente distintos.

#### 2.1.5.- UNIDADES DE MEDICION.

Curie.- La radioactividad es medida en unidades de Curies. El curie (Ci) es definido como  $3.7 \times 10^{10}$  desintegraciones radioactivas por segundo. Un Curie de radio es aproximadamente un gramo, un Curie de Radón-222 es  $0.66 \text{ cm}^3$  a temperatura y presión standard, un

Curie de U-238 es aproximadamente 3000 kilogramos. - Cuando una serie de decaimiento radioactivo está en equilibrio, la actividad de cada isótopo radioactivo producido, es exactamente grande. Para la mayoría de los propósitos, el rango de un milicurie (mCi) a un microcurie ( $\mu\text{Ci}$ ) es usado, donde  $1\text{mCi} = 10^{-3} \text{ Ci}$ ,  $1\mu\text{Ci} = 10^{-6} \text{ Ci}$ .

Roentgen.- Si los rayos gama atraviezan la materia sin pérdida de energía, no se producirá ningún efecto. Solamente aquellos fotones que enteraccionan con el detector pierden energía y producen un efecto observable. Así la unidad de radioactividad de fuente, el Curie, no necesariamente describe la cantidad de energía absorbida por una masa o por el detector. La cantidad de radiación absorbida por unidad de volumen o masa de material es el Roentgen (R),  $R = 2.579 \cdot 76 \times 10^{-4} \text{ coulomb/Kg (aire)}$ . Un Roentgen de radiación gama es aquel que produzca  $1.6 \times 10^{12}$  pares de iones por gramo de aire, dando en apariencia 83 Ergs de energía calorífica por gramo de aire.

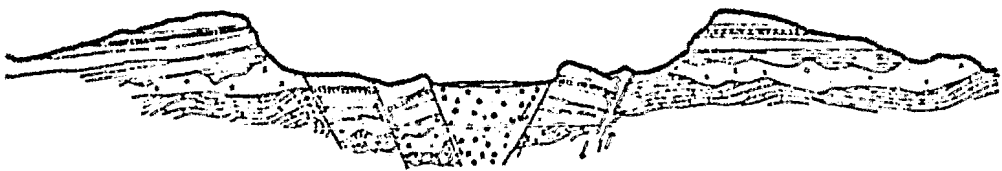
Los cintilómetros y contadores geiger son frecuentemente calibrados en términos de Miliroetgens (mR) por hora. Cuidadosas medidas han mostrado que un gramo de radio en equilibrio con sus productos de decaimiento y encerradas en .5 mm de platino producirán una actividad de rayos gama de 8.4 Roetngens por hora a una distancia de un centímetro.

$$1 \text{ mR/h} = 8.33 \text{ milirams/año}$$

rem = radiación equivalente para el hombre (en Roentgens)

$$1 \text{ R} = 10^6 \text{ mR}$$





# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA MEXICO.

Electrón Volt.- La unidad de energía de rayos gamma es el electrón Volt. Representa la energía adquirida por un electrón cuando es acelerado por la diferencia de potencial de un volt. La energía es comúnmente expresada como millones de electrón-volts (MeV) o miles de electrón Volts (KeV). La magnitud de esta energía es  $e(V)$ , donde  $e$  es la magnitud de la carga del electrón.

Si :

$$e = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ coulomb}$$

$$1V = 1 \text{ joule coulomb} = 1 \text{ Nm coulomb} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ c}^{-1}$$

$$1 \text{ joule} = 10^7 \text{ ergios}$$

$$1 \text{ Nm} = 10^5 \text{ dinas} = 1 \text{ kg m s}^{-2}$$

$$1 \text{ dina} = 1 \text{ gr cm s}^{-2}$$

$$\therefore 1eV = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ joule} = 1.6022 \times 10^{-12} \text{ ergios}$$

Cuentas por Segundo (C.P.S.).- Señala el número de golpes por segundo generados en el cristal de un aparato (cintilómetro) por una radiación gama. Con frecuencia se utiliza como medida el miliroentgen (mR) hora, equivalente a  $7.5 \times 10^6$  golpes o cuentas-hora, o sea, 2083 cuentas por segundo.

En medidas basadas sobre un producto de decaimiento, por ejemplo; el uso de emisión gama de el Bismuto-214 para estimar su abundancia, el término "equivalente" que se denota por el símbolo "e", debe preceder del elemento o símbolo, ejemplo: uranio equivalente, o eU.

Una fuente geológica con una concentración de 1 unidad de radioclemento (ur) produce la misma respuesta que una fuente conteniendo 1 parte por millón de uranio en equilibrio radioactivo.

$$1 \text{ ur} = 1 \text{ eU}$$

$$1 \text{ ur} \approx 1 \text{ ppm U} \approx 0.6 \mu\text{R/h}$$

Las unidades empleadas para reportar las concentraciones deberán ser expresadas en por ciento de potasio (%K), partes por millón de uranio equivalente (ppm eU) y partes por millón de torio equivalente (ppm eTh). Un ppm es igual a  $10^{-4}\%$ . El término equivalente es ajustado en conjunción con el uranio y torio debido a que el método basado en mediciones radiométricas no es medido el uranio y torio directamente y debe asumirse un equilibrio secular.

La forma de reportar las lecturas tomadas en el capocap mediante un cintilómetro se harán en:

- Cuentas por unidad de tiempo (cuentas/seg. o cuentas/min.)
- Microroentgens por hora ( $\mu\text{R/h}$ )
- Uranio equivalente (eU, Ueq, etc.)
- Millivolts
- Unidades de rayos gama del American Petroleum Institute para registros de pozo (unidades API)
- Múltiplos del "fondo"

Para los espectrómetros se harán de la siguiente forma:

- Como un múltiplo de la radiactividad de "fondo"
- En cuentas por unidad de tiempo para potasio, uranio o bismuto-214 y torio o talio-208.
- En término de concentración de radioclementos para potasio, uranio y torio.

2.1.6.- DOSIS MAXIMA PERMISIBLE.

- a) Personas ocupacionalmente expuestas
- b) Público en general

Daño somático (individuo en su persona)

Daño genético (en generaciones futuras)

- a) Para personas ocupacionalmente expuestas:

1a. Regla.- La cantidad de radiación que una persona puede recibir durante toda su vida no debe exceder a :

$$\text{Dosis} = 5(N-18) \text{ rem}$$

N=edad de la persona, expresada en años

2a. Regla.- Ninguna persona puede recibir --- anualmente una radiación mayor que 5 rems.

3a. Regla.- Ninguna persona puede recibir semanalmente una radiación mayor que 0.1 rem.

$$(0.1 \text{ rem} = 100 \text{ milirrems})$$

Ninguna persona puede recibir en una hora una radiación mayor que 2.5 milirems.

Regla especial.- En casos especiales se puede permitir que un individuo reciba hasta 3 rems dentro de un período de trece semanas (tres meses).

(No se aplica a mujeres en edad fértil, y menos si están embarazadas). En éste caso el límite es de 1.3 rems/trimestre.

Notas.

- Las reglas anteriores se aplican eminentemente a los órganos hematopoyéticos y a las gónadas.
- La cantidad de radiación es la suma de las cantidades recibidas por irradiación externa e interna.

- De la fórmula de la 1a. regla se deduce que ninguna persona menor de dieciocho años, debe dedicarse a trabajos que impliquen uso de radiación.

4a. Regla.- En las manos, antebrazos, pies y tobillos se pueden recibir radiación que no rebase 30 rems en trece semanas ni 75 rems en un año.

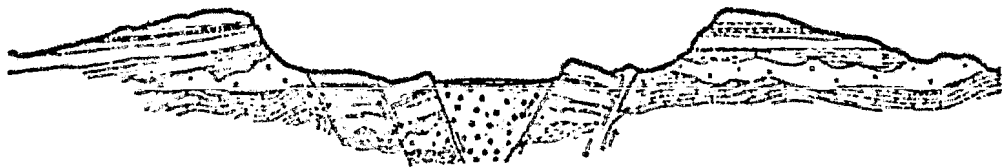
B) Público en General.

Regla única.- La cantidad máxima de radiación que puede recibir una persona es de 0.5 rems anuales

Notas.

- Las cantidades de radiación que se hayan recibido o se reciban en lo futuro al someterse a cualquier procedimiento médico, no deben tomarse en cuenta - al aplicar las reglas anteriores.
- No se deben escatimar esfuerzos para mantener bajo el nivel de radiación ni para que sea mínimo el número de personas las que se expongan a ésta.

DOSIS	EFEECTO PROBABLE
0-25 R	No hay daños temibles.
25-50 R	Posibles cambios hematológicos pero sin graves daños.
50-100 R	Cambios hematológicos. Algunos daños, sin llegar a la incapacidad.
100-200 R	Daños reales, posible incapacidad.
200-400 R	Daños e incapacidad reales. Muerte probable.
400-R	Fatal en un 50%
> 600 R	Mortalidad completa



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO. MEXICO.

Y APLICACION EN EL ARREA GERRO MONTE ROSA MEXICO.

R = roentgen =  $2.57976 \times 10^{-4}$  coulomb/kg (aire)

REM Significa radiation equiv. for man

Rem = rad X factor de calidad

Rad: Unidad de dosis absorbida = 0.01 joules/kg - (aire).

Factor de calidad: compara los efectos de la radiación con los de los Rayos X de 200 kv, que constituyen la base unitaria.

Kv: kilovoltios.

Factores de Calidad.

Fuente de Radiación	Factor de Calidad
Rayos X de 200 Kv	1
Rayos gama de radio en equilibrio (filtro de platino - de 0.5 mm)	1
Rayos beta y electrones de energía superior a 30 Kev (kilovoltios electrónicos)	1
Rayos beta y electrones de energía inferior a 30 Kev - (kilovoltios electrónicos)	1.7
Neutrones térmicos	3
Neutrones rápidos de hasta 10 MeV (megavoltios electrónicos) de energía	10
Protones de hasta 10 MeV	10
Partículas alfa naturales	10

Fuente de Radiación

Factor de Calidad

Isótopos o núcleos de retroceso pesados

20

La radiación ambiental existe en todas partes. No es peligrosa en los lugares donde normalmente habitan y trabajan las personas. Proviene de todas las rocas, del suelo y de algunos objetos. Aproximadamente un 10% es de origen cósmico. Es menor la cantidad de radiación en cuerpos de agua de por lo menos 75 cm de profundidad, como en ríos, lagos, presas y el mar. La razón es que el agua sirve de barrera o blindaje y se recibe solo la radiación cósmica.

## 2.2.- ESPECTROMETRIA DE RAYOS GAMA.

Ahora vamos a tratar exclusivamente la espectrometría de los rayos gama ( $ER_\gamma$ ). Por medio de la  $ER_\gamma$  es posible determinar las concentraciones individuales de los tres radioelementos naturales en la tierra; potasio, uranio y torio. El método es basado en el hecho de que un flujo libre de rayos gama de más o menos grandes fuentes es una medida directa de la concentración de los emisores en estudio. La emisión de rayos gama de 1.46 MeV es diagnosticada para el  $K^{40}$ , y su conteo puede ser interpretado en términos de una concentración por peso de potasio. El Bismuto 214 en la serie de decaimiento del uranio y el talio 208 en la serie del torio también tiene emisiones de rayos gama en la región de energía superior de 1.0 MeV, éstos flujos emitidos pueden ser distinguidos de la radiación total en cualquier etapa de la exploración.

### 2.2.1.- ESPECTRO DE PULSOS ALTOS.

La Fig. 2.4 muestra el espectro de pulsos altos - producido por un cristal detector de NaI de 76 X 76 mm colocado un metro arriba de la fuente con 2% de - potasio, 100 ppm  $U_e$ , ó 1000 ppm  $Th_e$ . La absisa es - la amplitud del pulso expresado en unidades de energía (MeV, millones de electrón volt). La ordenada - es la intensidad del espectro, ejemplo; el conteo de pulsos en un intervalo de amplitud muy pequeño. Nótese que la intensidad del espectro es presentada en unidades arbitrarias sobre una escala logarítmica.

Las características más notables de éste espectro son los picos. El pico con la posición central de - 1.46 MeV en el espectro de potasio resulta una radiación del potasio-40 la cual es emitida libremente, - es decir no choca una radiación con otra, y que ha - sido totalmente absorbida por el centellador (cris- - tal de NaI). Casi todos los pulsos producidos por - el potasio son menores de 1.6 MeV. Arriba de éste - nivel el Bismuto-214 tiene mayor energía 2.61 MeV, - que cualquier otro pico producido por radiación gama terrestre. Este es causado por flujos de rayos producidos por el Talio-208 de una energía exacta de -- 2.6147 MeV. Cuando éstos son absorbidos por el cris- - tal de NaI, pueden ser creados pares de electrón-po- - sitrón. Un positrón tiene una vida media muy corta y decae dentro de dos "cuantos" opuestos de aniquila- - ción directa, cada uno teniendo energía de 0.511 MeV. Uno o ambos de los "cuantos" puede escapar del deteg- - tor a 2.10 ó 1.59 MeV. Los picos con éstas energías picos de escape, son antes de eso observados en el - espectro del torio. Los picos de escape de 1.59 MeV son, sin embargo, superimpuestos por otro pico produ-

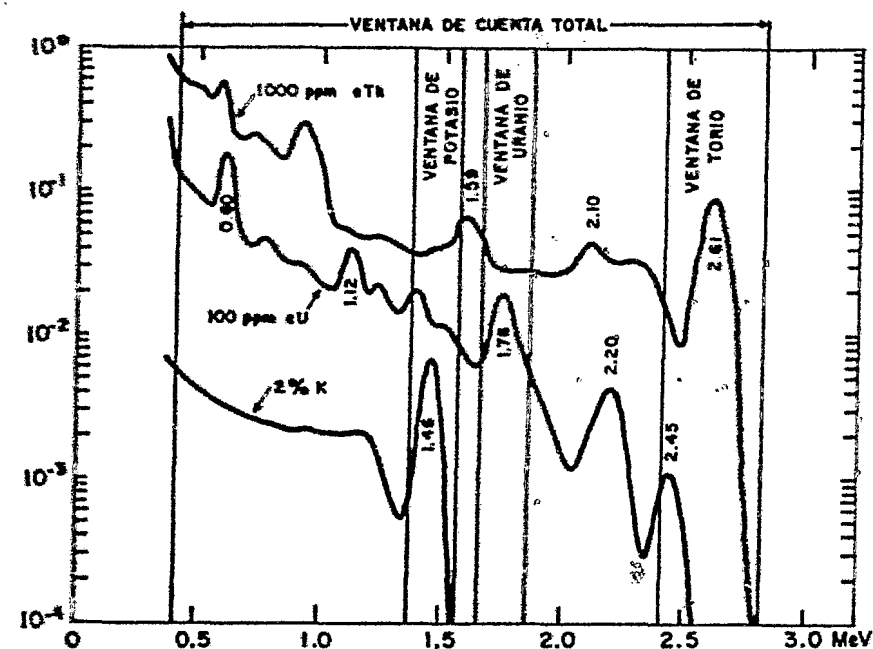
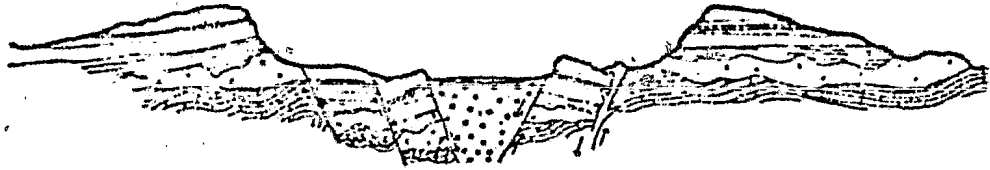


FIGURA 2.4.- ESPECTRO DE TORIO, URANIO Y POTASIO OBTENIDO A NIVEL DE SUELO CON CRISTAL DE NaI DE 76x76 mm.

cido por rayos gama de 1.5881 MeV del  $Ac^{228}$  (ver tabla 2.3 y 2.4).

Cualquier pico espectral es acompañado por una -- distribución continua de amplitudes de pulsos. El -- valor máximo de éstos es menor que el pico de ener- -- gía característico de cada elemento, y alguno de -- ellos puede ser atribuido al fenómeno de dispersión en el cual un rayo gama sin chocar solo depósita una fracción de su energía en el centellador. Otros re- -- sultan de la detección de radiación que ha sido dis- -- persada en el terreno o en el aire.



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA CERRO MONTOSA MEXICO.

## 2.2.2.- ESTABLECIMIENTO DE VENTANAS.

El conteo en una región espectral de interés puede ser determinada por medio de un selector diferencial de pulsos altos seguidos de un almacenaje electrónico de registro. La mayoría de los espectrómetros de rayos gama comercialmente disponibles, ya sea para tierra o aire, emplean datos acumulados en cuatro ventanas de conteo espectral. Tres de éstas abarcan los picos de 2.61, 1.76 y 1.46 MeV, que son energías características del torio, uranio y potasio respectivamente. Las cuatro ventanas cubren la región espectral completamente desde unas cuantas decimas de MeV hasta cerca de 3.0 MeV. El conteo obtenido en esta extensa ventana es una señal total de rayos gama la cual no debe ser confundida con una señal de cuenta total, debido a que señal total, es diferente a cuenta total, la señal total solo contiene una menor contribución de energía baja o sea de radiación dispersa.

Las ventanas establecidas recomendadas para espectrómetros de cuatro canales están dadas en la Tabla 2.7. Estos valores han sido adoptados, mezclados con otros del Geological Survey of Canada. Las regiones de los espectros seleccionadas se ven en la Fig. 2.4.

ISOTOPO QUE DECAE	ENERGIA DE RAYOS GAMA EN MeV	GAMAS POR 100 DESINTEGRACIONES
$^{214}\text{Pb}$	0.2952	17.9
$^{214}\text{Pb}$	0.3520	35.0
$^{214}\text{Bi}$	0.6094	43.0
$^{214}\text{Bi}$	1.1204	14.5
$^{214}\text{Bi}$	1.2382	5.6
$^{214}\text{Bi}$	1.3778	4.6
$^{214}\text{Bi}$	1.7647	14.7
$^{214}\text{Bi}$	2.2045	4.7
$^{214}\text{Bi}$	2.4480	1.5

TABLA 2.3.- RAYOS GAMA DOMINANTES EMITIDOS POR ISOTOPOS HIJOS DE  $\text{U}^{238}$ .

ISOTOPO QUE DECAE	ENERGIA DE RAYOS GAMA EN MeV	GAMAS POR 100 DESINTEGRACIONES
$^{212}\text{Pb}$	0.2386	45.0
$^{228}\text{Ac}$	0.3385	12.3
$^{208}\text{Tl}$	0.5107	9.0
$^{208}\text{Tl}$	0.5831	30.0
$^{212}\text{Bi}$	0.7272	7.0
$^{228}\text{Ac}$	0.9111	29.0
$^{228}\text{Ac}$	0.9667	23.0
$^{228}\text{Ac}$	1.5881	4.6
$^{208}\text{Tl}$	2.6147	35.9

TABLA 2.4.- RAYOS GAMA DOMINANTES EMITIDOS POR ISOTOPOS HIJOS DE  $\text{Th}^{232}$ .

### 2.2.3.- SEÑALES REGISTRADAS.

La tabla 2.5 muestra la contribución en el conteo de las ventanas registradas con un detector de NaI - de 76 x 76 mm colocado sobre un afloramiento de granito con 12 ppm de  $^{232}\text{Th}$ , 3 ppm de  $^{238}\text{U}$ , y 3% de K.

### 2.2.4.- VENTANA DE TORIO.

En ésta ventana el 86% de la señal puede ser atribuido al torio y 2% al uranio. La Fig. 2.4 muestra que las pequeñas contribuciones de uranio son causadas por el hecho de que algunos de los picos de 2.45 MeV en el espectro de uranio están dentro de la ventana del torio. La contribución del fondo 20 cuentas/100 seg. es principalmente el resultado de los rayos cósmicos a éste nivel de alta energía.

### 2.2.5.- VENTANA DE URANIO.

Es característico de la venta de uranio que el torio lo mismo que el uranio, producen muchas cuentas en un ambiente geológico normal. Por ésta razón éste conteo no puede ser usado como una medida directa de la concentración de uranio en el terreno. Las cuentas de torio originadas principalmente por la señal continua por el espectro de torio entre los picos de 1.59 y 2.10 MeV, es la influencia captada en el canal de uranio. El fondo establecido es de 50 cuentas/100 seg.

FUENTE DE RADIACION	CUENTAS POR 100 SEGUNDOS			
	VENTANA DE Th	VENTANA DE U	VENTANA DE K	VENTANA DE CT
TORIO	144	75	106	3360
URANIO	4	75	75	1710
POTASIO	0	0	900	4200
FONDO	20	50	100	2000
SUMA	168	200	1181	11270

TABLA 2.5 - CONTRIBUCIONES AL CONTEO DE LAS VENTANAS DE UN DETECTOR DE NaI DE 76 x 76 mm. SOBRE UNA ROCA CON 12 ppm  $^{232}\text{Th}$ , 3 ppm  $^{238}\text{U}$  y 3 % K.



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO., MEXICO.

Y APLICACION EN EL ARRAZADO MONTEOSA.

## 2.2.6.- VENTANA DE POTASIO.

Más del 65% y típicamente el 15% del conteo en la ventana de potasio de un espectrómetro portátil puede generalmente ser atribuida al potasio del terreno. La contribución del uranio y del torio generalmente es de entre el 15 y el 20%. Del conteo de fondo, 100 cuentas/100 seg. aproximadamente una tercera parte es contribución del potasio-40 contenido en el vidrio del tubo fotomultiplicador. Esta contribución puede ser reducida por el uso de un tubo con una ventana al final de vidrio de cuarzo. Alternativamente un absorbente de rayos gama consiste de Yoduro de sodio puro (no activado) puede ser insertado entre el fotomultiplicador y el centellador.

## 2.2.7.- VENTANA DE CUENTA TOTAL.

Esta ventana produce mucho más señal que cualquiera de las otras ventanas y consecuentemente hace posible detectar anomalías radiométricas que no son reveladas por alguna de las tres ventanas debido a conteos estadísticos pobres. En el ejemplo que se ha venido manejando un conteo neto de aproximadamente 9300 cuentas/100 seg. es obtenido sobre una roca ignea típica. Esta señal de cuenta total es igualmente contribuida por rayos gama dispersos y no colisionantes (flujos libres) con energías de 0.41 a 2.61 MeV. Menos del 8% de la señal puede ser atribuida a los rayos gama dispersos en el aire del "skyshine". La mayoría de éstos rayos tienen energía menor de 0.41 MeV y en consecuencia casi no producen cuentas. Se aclara que un conteo neto es el conteo observado menos el fondo.

## 2.3 ECUACIONES ESPECTROMETRICAS.

2.3.1.- ECUACIONES DE CONVERSION.- En todas las fórmulas empleadas a continuación,  $n_T$ ,  $n_U$ ,  $n_K$  serán usadas para referirse a conteos netos en las ventanas de torio, uranio y potasio. En un estudio de material de sedimentos teniendo relación de concentración de torio a uranio de tres a mayor es permisible despreciar la contribución de uranio al  $n_T$ , y esto puede ser supuesto por ser proporcional la concentración de torio. Este radioelemento es también contado en la ventana de uranio, pero el efecto puede ser neutralizado restando una fracción de  $n_T$  de  $n_U$ . El conteo de uranio corregido por factores de "stripping"  $n'_U$  de  $n_K$  llegamos al conteo de potasio corregido por factores de "stripping" llamado  $n'_K$  el cual es proporcional a la concentración de potasio.

El procedimiento para convertir conteos de las ventanas a concentración de radioelementos, K, U y T, es dada por las ecuaciones:

$$\begin{array}{ll} K = n'_K S_K & \% K \\ U = n'_U S_U & \text{ppm eU} \\ T = n'_T S_T & \text{ppm eT} \end{array} \quad 2.7$$

siendo:

$$\begin{array}{l} n'_U = n_U - \alpha n_T \\ n'_K = n_K - \beta n_T - \gamma n'_U \end{array} \quad 2.8$$

Las constantes  $S_K$ ,  $S_U$  y  $S_T$  son conocidas por ser conteos producidos por una concentración unitaria de potasio, uranio o torio y son éstas las sensibilidades espectrométricas de éstos elementos. Las fracciones  $\alpha, \beta, \gamma$  que aparecen en la ecuación (2.8) son normalmente referidos como las relaciones de "stripping" de los espectrómetros de rayos gama. La con-

tribución de la ventana de torio en la del uranio y potasio es representada por los conteos  $\alpha n_T, \beta n_T$  y el conteo  $\gamma n_U$  representa la contribución del uranio en la ventana de potasio. Sin compensación de éstos -- conteos, las concentraciones de uranio y potasio no pueden ser determinados espectrométricamente.

Las sensibilidades y relaciones de "stripping" para un espectrómetro portátil equipado con un detector de NaI de 76 x 76 mm está dado en la tabla 2.6, las relaciones dependen de los anchos de las dos regiones espectrales a través de las cuales son definidas, y también son influenciadas por la resolución -- de energía de la unidad detectora. Las relaciones -- de "stripping" presentadas son solo confiables cuando son usadas las ventanas establecidas recomendadas por la tabla 2.7.

### 2.3.2.- ECUACION DE CUENTA TOTAL.

La tabla 2.6 también muestra tres constantes de -- calibración designadas por  $a_K, a_U$  y  $a_T$ . Estos son los coeficientes de cuenta total para el espectrómetro. Estos coeficientes son definidos como los coeficientes similares para un instrumento de "conteo bruto" y ellos pueden ser usados para controlar las medidas de concentraciones de K, U y T. Insertando éstas -- concentraciones en una ecuación igual a la (2.9), es posible calcular el conteo neto, n, en la ventana de cuenta total, la relación entre n y el conteo neto -- observado actualmente en ésta ventana será cerrado a la unidad.

Las fluctuaciones significantes mostradas en ésta relación pueden indicar una inestabilidad del instru-

mento, ejemplo: deriva en la ganancia del fotomultiplicador,

$$n = a_K K + a_U U + a_T T$$

3.9

RELACIONES DE "STRIPPING"	$\alpha = 0.52$		
	$\beta = 0.74$		
	$\gamma = 1.0$		
SENSITIVIDAD DEL ESPECTROMETRO	$S_K = 3.0$	cps	por % K
	$S_U = 0.25$	cps	por ppm e U
	$S_T = 0.12$	cps	por ppm e Th
COEFICIENTES DE CUENTA TOTAL	$a_K = 14$	cps	por % K
	$a_U = 5.7$	cps	por ppm e U
	$a_T = 2.8$	cps	por ppm e Th
VALIDO SOLO CON LOS DATOS DE LA TABLA 2.7			

TABLA 2.6.- CONSTANTES DE CALIBRACION PARA ESPECTROMETRO PORTATIL CON CRISTAL DE 76 x 76 mm.

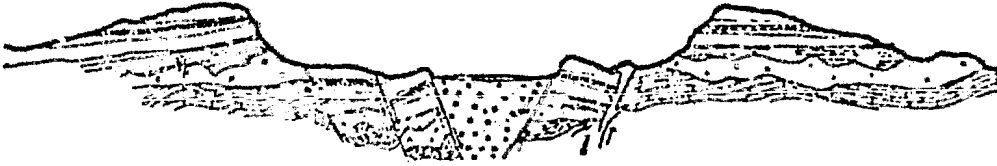
### 2.3.3.- CALIBRACION.

Debido a que el conteo corregido con las relaciones de "stripping" en la ventana de uranio hace posible detectar uranio en presencia de torio, la relación de stripping alfa debe ser considerada como la constante de calibración más importante en exploración de uranio por espectrometría de rayos gama. Podrá ser pensado que alfa ( $\alpha$ ) puede ser determinado por el registro del conteo producido en las ventanas de uranio-torio cuando una pequeña muestra de óxido de torio es colocada en el frente de detector de NaI. Esto no es exacto. En el campo, una de cada tres -- cuentas del torio entran en la ventana del uranio como resultado de la detección de los rayos gama no -- dispersos que son emitidos por una pequeña fuente, y el valor estimado de  $\alpha$  es alrededor de 30% más bajo.

### 2.4.- INSTRUMENTACION.

Para mejores resultados de la exploración terrestre es conveniente hacer buena selección de los ins-





# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA MEXICO.

trumentos apropiados. Los instrumentos usados son los contadores Geiger-Muller, actualmente casi fuera de uso, los contadores de centelleo o cintilómetros y los espectrómetros de rayos gama. Una amplia variedad de éstos instrumentos son producidos comercialmente. Un resumen útil de las características de cintilómetros y espectrómetros fue elaborado por Hood en 1975.

Las características más importantes de los instrumentos para los trabajos de campo son sensibilidad y precisión.

**Sensibilidad.**- La sensibilidad de un instrumento es la medida de su respuesta intrínseca a la radiación gama del uranio y depende de la eficiencia y tamaño del detector. La sensibilidad de un instrumento determina grandemente si los resultados útiles serán obtenidos al mismo tiempo que el equipo se mueve. El número de cuentas por segundo y de partes por millón de uranio equivalente es una medida adecuada de la sensibilidad del instrumento.

**Precisión.**- Para asegurar que el trabajo puede seguir adelante de acuerdo al programa y resultados obtenidos de una exploración terrestre de rayos gama, los instrumentos deben ser diseñados para soportar moderados golpes físicos y condiciones extremas de temperatura y humedad. Es particularmente importante que los circuitos electrónicos permanezcan estables durante el curso de una exploración.

**2.4.1.- CONTADOR GEIGER-MULLER (GM).**- Es el más barato de los instrumentos de campo. Es robusto y fácil de usar pero insensitivo.

El contador GM consiste de un tubo de metal lleno

de gas equipado con un alambre delgado al centro del tubo que es conservado a un voltaje positivo de varios cientos de volts. Fig. 2.5.- Un electrón es lanzado de la pared del detector por una interacción gama que puede ser directamente dentro del gas, normalmente argón con una mezcla de vapor de halógeno, en el cual una descarga eléctrica es desarrollada. La carga colectada en el alambre central no depende de la energía de rayos gama absorbida, y el conteo de pulsos es casi constante sobre un rango de voltajes de operación. La eficiencia del GM es muy baja, menos del 2%.

## 2.4.2.- CINTILOMETRO.

El cintilómetro es el instrumento más útil de cuenta total y es una herramienta esencial en la exploración de uranio.

Los contadores de centelleo, mejor conocidos como cintilómetros, son portátiles y ligeros, sensitivos y de uso sencillo. Estos equipos generalmente se llevan en la mano pero pueden ser operados en recorridos sobre un vehículo ligero, o sobre una bestia de carga. En un cintilómetro portátil los detectores son generalmente cristales de NaI de 25 x 25 mm o de forma alargada, la intensidad de radiación gama es mostrada sobre una carátula de medición teniendo constantes de tiempo de 1 a 20 segundos, Fig. 2.6. - El monitoreo continuo de la intensidad de rayos gama es simplificado por la provisión de un tono variable de una señal de audio la cual responde al conteo indicado en la carátula de medición y puede ser colocado para operar arriba del umbral preseleccionado con un tono creciente cuando el conteo aumenta. La aplicación para cintilómetros portátiles en la exploración

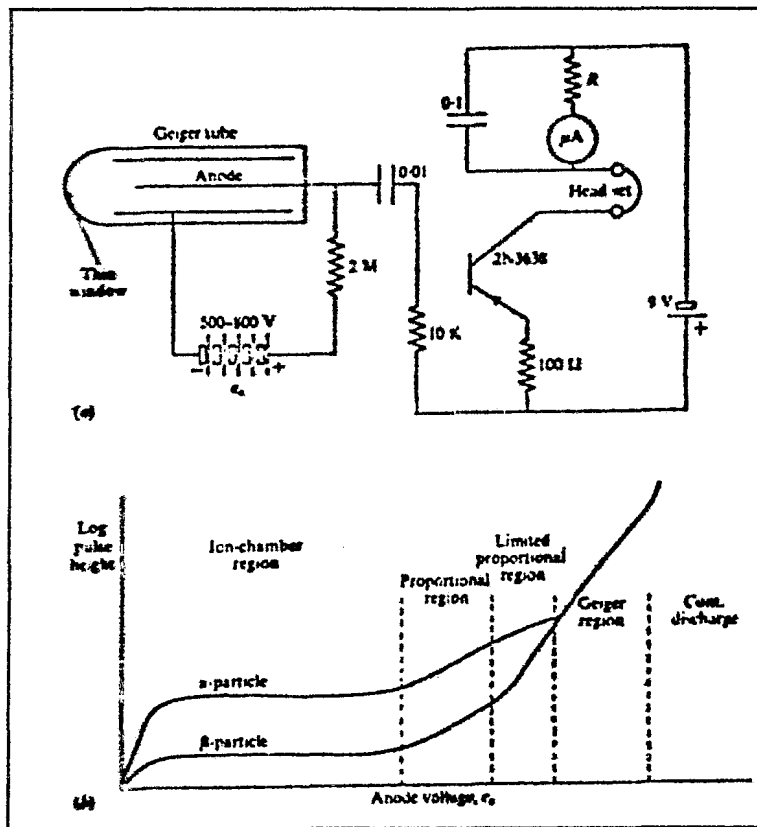


FIG. 2.5 .- DIAGRAMA DEL CONTADOR GEIGER-MULLER.

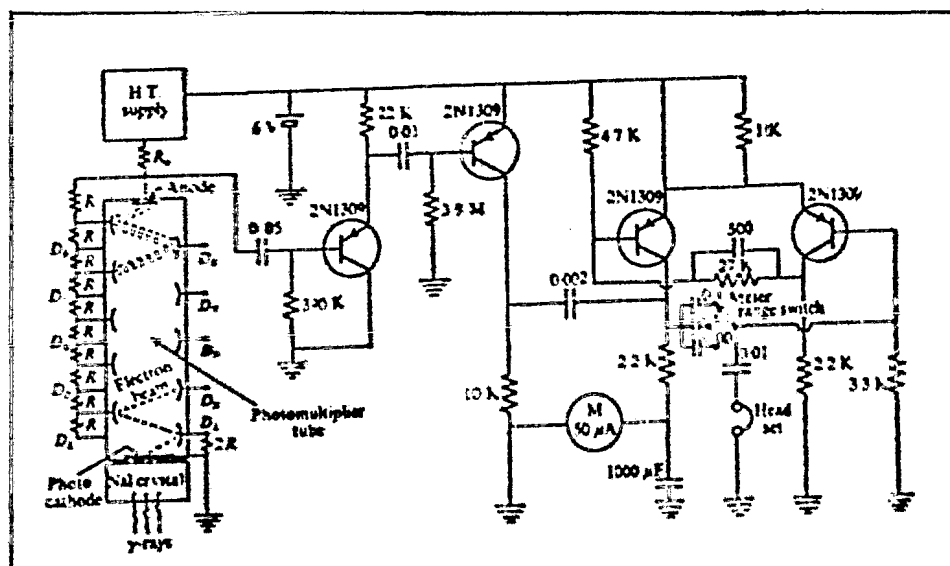
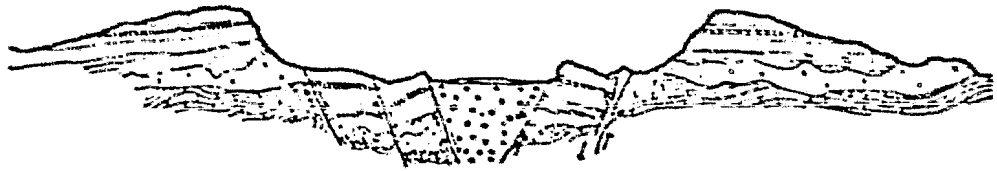


FIG. 2.6 .- DIAGRAMA DEL CINTILOMETRO.

ción de uranio incluye: la localización y delimitación de la extensión de las anomalías detectadas - por métodos aéreos; estimación de leyes In situ; selección de material para muestreo; mapeo de la intensidad de rayos gama a largo de los estudios y de los recorridos en forma variable en etapas iniciales de un programa.

Los cintilómetros especialmente diseñados para los estudios desde vehículos son pesados, voluminosos y consecuentemente costosos. Estos equipos usualmente son modificaciones de los sistemas aéreos. El detector es generalmente montado sobre vehículo para aumentar el área muestreada por el detector. El detector comúnmente consiste de un cristal de NaI de 76 x 76 mm o de forma alargada y requiere una protección especial para la vibración, golpeteo, humedad - polvo y que el protector sea térmico. La señal de salida del cintilómetro montado en un vehículo es normalmente dado por una carátula de medición y los resultados son graficados continuamente sobre un papel de registro. Una señal de audio puede ser disponible acoplado a la señal de salida. La aplicación de éste equipo incluye reconocimientos preliminares de áreas programadas mapeando los cambios de radiación a lo largo de brechas y caminos, se emplea en la exploración semidetalle de pequeñas áreas en terreno plano cerrando el espaciamiento de los recorridos. La capacidad de los cintilómetros para hacer medidas de concentraciones de radioelementos In situ es mejorado por el uso de un filtro de latón para eliminar el problema de correcciones de fondo y proporcionar una geometría standar del terreno muestreado.



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO., MEXICO.

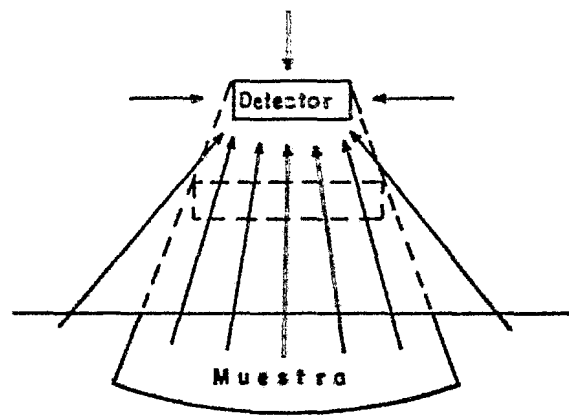
Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA

El principio del filtro diferencial es ilustrado en la Fig. 2.7. La aplicación más importante del -- filtro diferencial es en estudios radiométricos de -- minas y catas donde es necesario corregir por el -- fuerte incremento de radiación de fuentes tridimen-- sionales rodeando el área que es analizada. Los e-- efectos de fuentes extrañas son removidos de las medi-- ciones con filtros diferenciales restando las lectu-- ras con el filtro de las lecturas obtenidas sin el -- filtro. El tamaño del área analizada por mediciones con filtro diferencial está relacionada a la separación filtro-detector y el ángulo sólido subtendido -- en el detector por el filtro. La ocurrencia de medi-- ción con el filtro diferencial es mayor cuando la di-- ferencia entre los resultados obtenidos con y sin -- filtro es mayor.

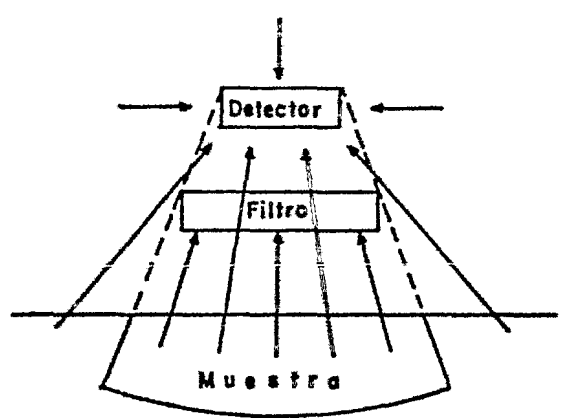
3.4.3.- ESPECTROMETROS DE UMBRAL (EU).- Los espec-- trómetros de umbral usan discriminadores de pulsos -- de alta energía para medir la intensidad de rayos ga-- ma superiores a uno o más umbrales de energía los cua-- les son localizados abajo del fotopico del  $K^{40}$  y los fotocopios principales de  $Bi^{214}$  y  $Pb^{210}$  Fig. 2.8. La relación de "stripping" para espectrómetros de um -- bral es grande e introduce altos errores estadísti-- cos en los conteos del canal de uranio afectando és-- te fenómeno, a las concentraciones normales de ura-- nio en capas de terreno. Debido a ésto, en los pro-- gramas modernos de exploración, los espectrómetros -- diferenciales han reemplazado grandemente a los es-- pectrómetros de umbral en los estudios espectrométri-- cos terrestres.

La mayoría de los espectrómetros de umbral tienen pequeños detectores los cuales producen conteos que

Medición sin Filtro ( $I_0$ )



Medición con Filtro ( $I_f$ )



Cálculo de las características de Radioelementos (Q) de una muestra

$$Q = K(I_0 - I_f)$$

dónde K es la constante de calibración

FIGURA 2.7.- APLICACION DE UN FILTRO DIFERENCIAL PARA LECTURAS RADIOMETRICAS IN-SITU

son demasiados bajos para uso satisfactorio en exploración sistemática. Los espectrómetros de umbral --- son apropiados para chequeos de sitios, en forma no refinada o tosca, de anomalías en cuenta total.

#### 2.4.4.- ESPECTROMETROS DIFERENCIALES (ED).

Estos instrumentos están diseñados para aceptar - pulsos gama en divisiones seleccionadas llamadas --- "ventanas" dentro del espectro cama. Los espectrómetros diferenciales usados en exploración terrestre - generalmente tienen cuatro ventanas o canales los -- cuales pueden ser colocados como lo muestra la tabla 2.7.

VENTANA	COLOCACION RECOMENDADA MeV
Torio	2.41 - 2.81
Uranio	1.66 - 1.86
Potasio	1.37 - 1.57
Gama Total	0.41 - 2.81

TABLA 2.7.- COLOCACION DE VENTANAS RECOMENDADO PARA ESPECTROMETROS DE CUATRO CANALES.

Los espectrómetros diferenciales portátiles comunmente tienen un cristal detector de NaI y 76 x 76 mm los conteos en las cuatro ventanas son registrados - simultáneamente por escala digitales Fig. 2.9. El - tiempo de conteo puede ser variado, generalmente de 1 segundo a 10 minutos y el canal de cuenta total a veces puede ser usado con una carátula de medición - en la señal de salida. En la actualidad hay equipos que están diseñados para un monitoreo continuo en ca

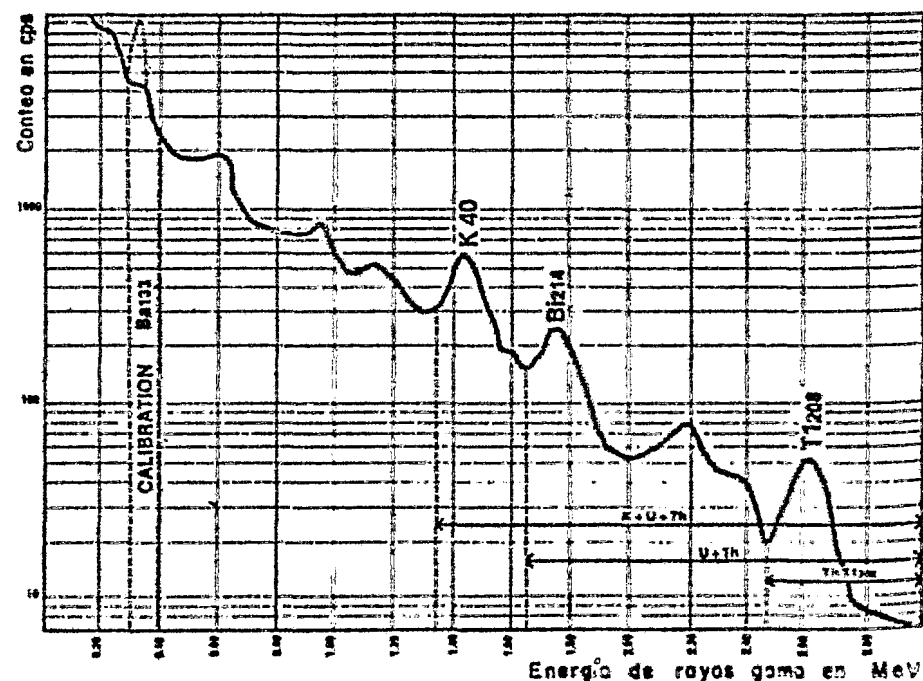
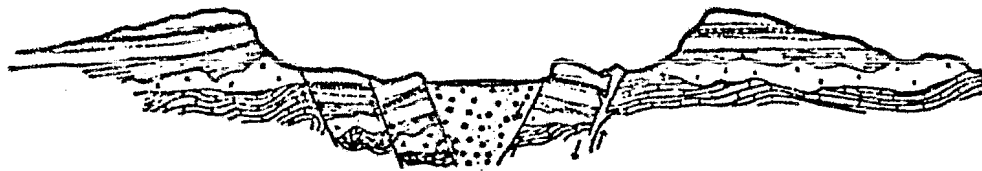


FIGURA 2.8.- ESPECTRO DE RAYOS GAMA NATURALES Y POSICION DE UMBRALES.



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO. MEXICO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA.

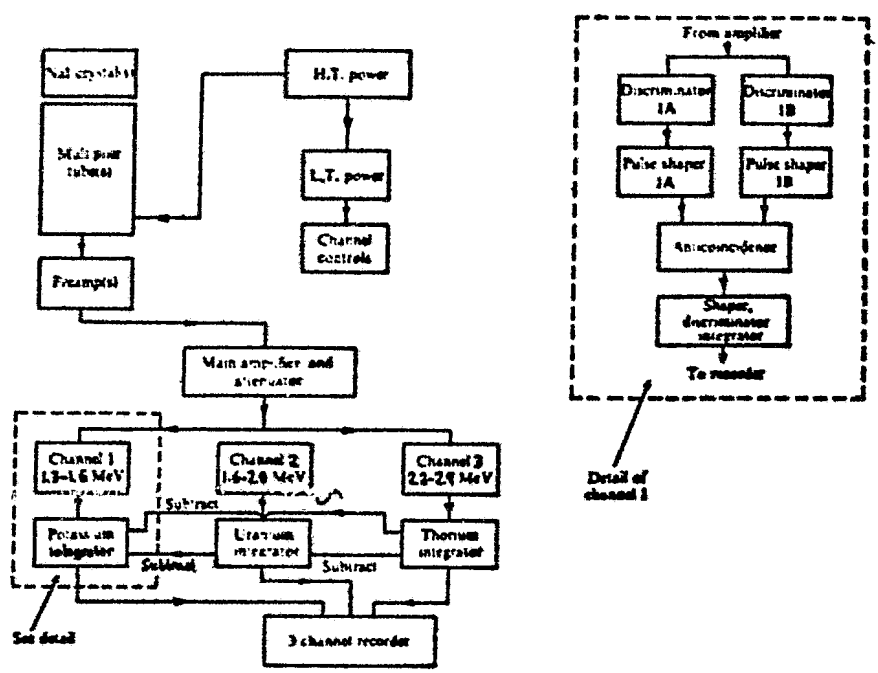


FIGURA 2.9.- DIAGRAMA DEL ESPECTROMETRO DE TRES CANALES.

da uno de los canales registrando los cambios de intensidad gama del terreno, por canal, a través de una carátula de medición. El costo y peso de éstos equipos y el gran cuidado requerido en su operación hace que los geólogos y prospectores tiendan a evitar usarlos como cintilómetros. El espectrómetro diferencial es esencial en la exploración de uranio siempre que éste sea una necesidad para identificar zonas ricas de uranio así como para distinguirlo del torio. El instrumento deberá ser operado siempre por personal capacitado el cual esté familiarizado con estandarizaciones y procedimientos de calibración teniendo un control estricto de éste personal. Un proceso de exploración espectrométrica terrestre

es mucho más lento que con cintilómetro debido al mayor tiempo necesario para obtener lecturas, por lo tanto, un reconocimiento terrestre rápido con cintilómetro debe usualmente preceder al trabajo sistemático del espectrómetro. Los espectrómetros pueden ser ventajosos en la exploración de depósitos sepultados los cuales solo producen una pequeña anomalía de uranio en la superficie en presencia de torio y/o potasio más abundante. Los trabajos detallados son mejor llevados en recorridos sistemáticos a lo largo de mallas trazadas previamente, el espaciamiento dependerá de las dimensiones de la fuente buscada. El ED puede ser usado para investigar la concentración de uranio de muestras de roca y minerales incluyendo los altos en torio, pero solo si las leyes adecuadas están disponibles.

Los ED son comunmente usados en exploración con vehículo, pero debido al corto tiempo de conteo o constante de tiempo requerido para los detectores en movimiento, es requerido un cristal de NaI al menos de 150 x 150 mm, preferiblemente mayor, para obtener un conteo estadístico satisfactorio en los canales de potasio, uranio y torio. En general, el ED auto transportado emplea una carátula de medición en la señal de salida y además gráfica en papel adecuado los resultados obtenidos. El ED autotransportado proporciona una alternativa de bajo costo, con respecto a los métodos aéreos, cuando el terreno y acceso son favorables.

### 2.4.5.- REGISTRO DE RAYOS GAMA.

Hay gran variedad de equipos de registro, algunos portátiles y otros, más pesados, montados en vehículos apropiados. De acuerdo al objetivo se programa-

el tipo de registro que se va a obtener, en el caso de uranio, es suficiente con el gama, SP y R.

En general cualquier equipo está diseñado para medir la intensidad gama en cuenta total, aunque en la actualidad se cuenta con registros diferenciales. Algunos otros están diseñados para efectuar diferentes registros con el simple cambio de tipo de sonda.

El equipo empleado en éste caso es del tipo portátil, con malacate manual y probeta estandar (gama, - SP y R).

Este equipo proporciona la información en forma gráfica, en otros modelos es posible grabarlo en cinta o cassette.

La probeta tiene un cristal de NaI de 38.1 x 12.7 mm activado al talio, con dimensiones de 110 cm de largo por 3.18 cm de diámetro.

El peso total del equipo es de 27.3 kg, incluyendo cable y probeta, facilitando su transporte a lugares poco accesibles (Fig. 2.10, 2.11, 2.12).

## 2.5.- REGISTRO DE POZOS.

Las técnicas de registro de pozos representa una fase importante en la mayoría de los programas de exploración y muchas de las técnicas son también aplicadas en la evaluación de reservas minerales. Las técnicas de registro no existían 25 años atrás. Los registros de rayos gama naturales para uranio fueron primero experimentados en Norteamérica, y ahora son empleados rutinariamente por la industria para obtener la mayor parte de información de litología y estratigrafía básica usada por el Geólogo para guiar la exploración y proporcionar las reservas minerales

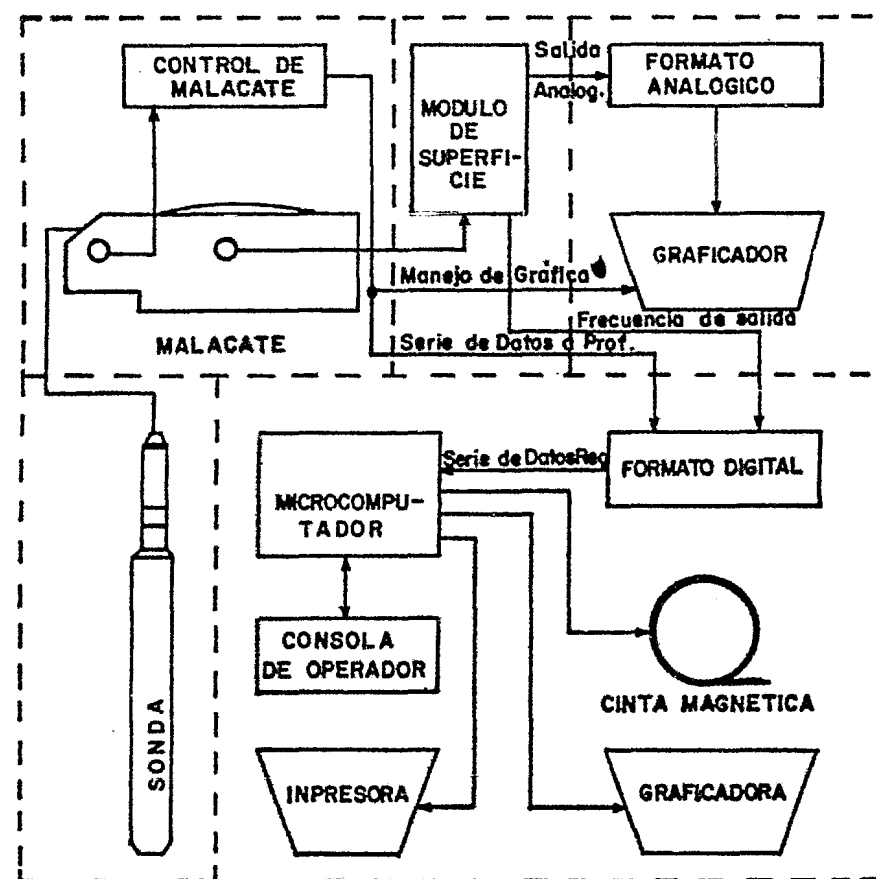
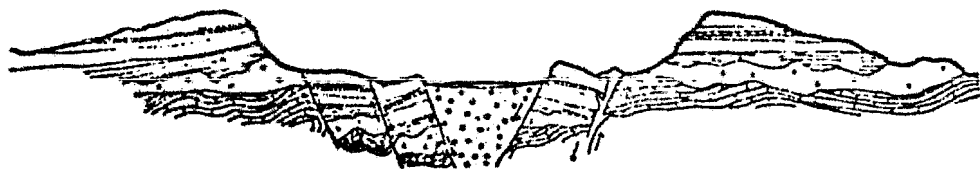


FIGURA 2.10.- DIAGRAMA DEL REGISTRO DE RAYOS GAMA.



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA  
MEXICO.

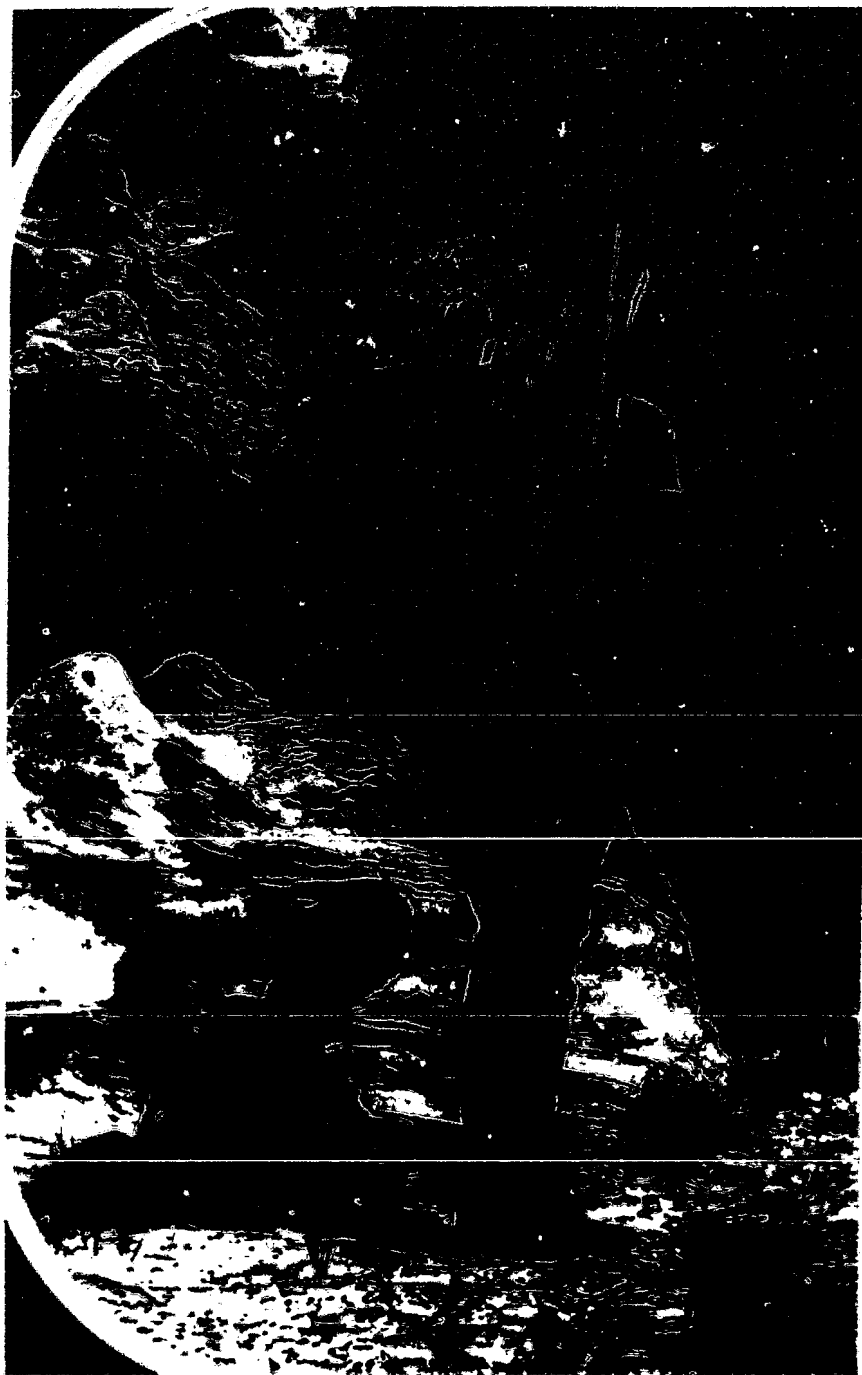


FIGURA 2.11 - TRANSPORTE DEL EQUIPO DE REGISTRO

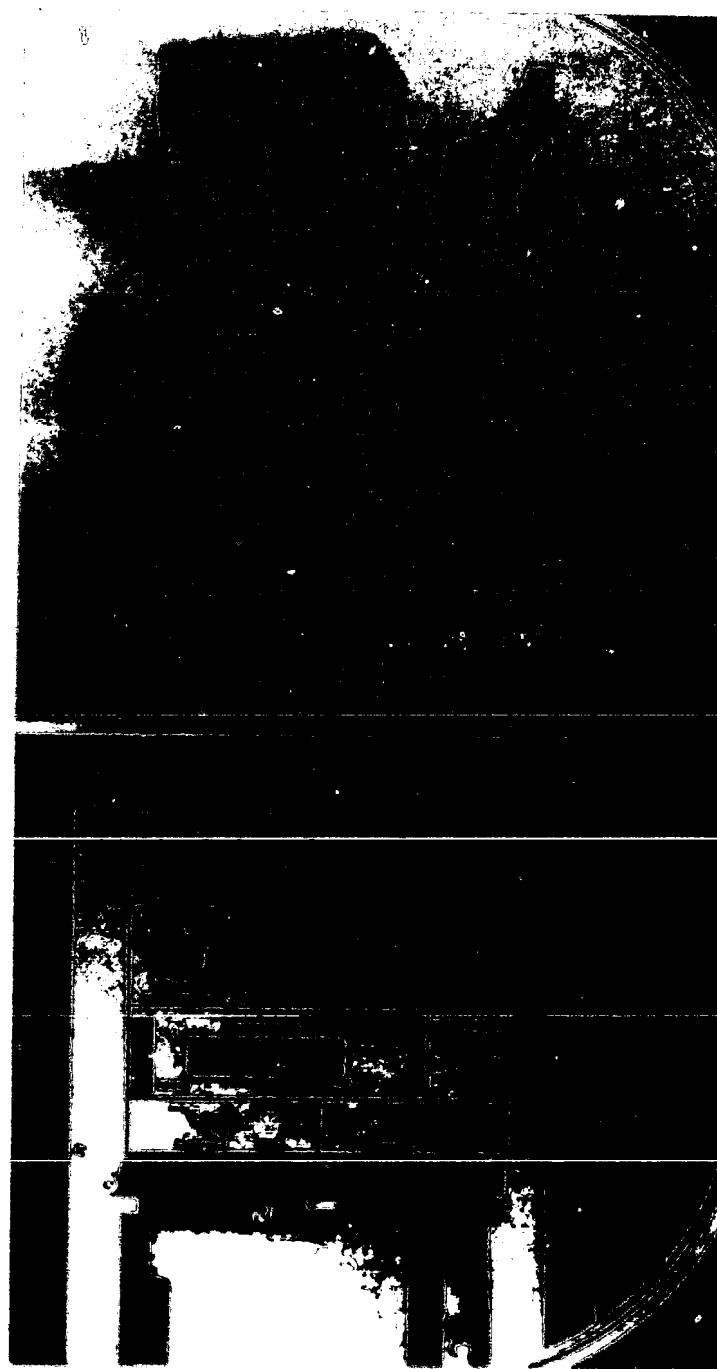


FIGURA 2.12 - EQUIPO DE REGISTRO DE RAYOS GAMA.

dirigidas con datos de muestras cuantitativas. Equipos perfeccionados junto con desarrollo imaginativo y un creciente conocimiento de la industria minera - del valor y necesidad de más y mejor información de los sondeos, asegura continuar el perfeccionamiento y confianza sobre registros.

Algunas de las ventajas técnicas e incentivos económicos para los registros geofísicos son las siguientes:

- 1) Los altos costos de perforación con núcleo pueden ser grandemente reemplazados con perforaciones sin núcleo en un cuarto ó menos del costo.
- 2) Los registros proporcionan información donde la recuperación de núcleos es pobre o imposible, esto incluye sedimentos poco consolidados o rocas fracturadas.
- 3) Los datos pueden ser obtenidos de pozos perforados previamente para otros propósitos, incluyendo pozos con tubería.
- 4) Las sondas de registro múltiple proporcionan varios tipos de información simultánea y rápidamente y los registros son inmediatamente aprovechables con la evaluación cualitativa.
- 5) Registros analógicos continuos o digital permiten re-muestrear, si es necesario, para estadística y evaluación económica.
- 6) Los registros geofísicos son coherentes e imparciales.
- 7) Los registros digitalizados pueden ser analizados objetiva y rápidamente por computadoras.
- 8) El volumen de muestra analizado por la probeta es generalmente mayor y, por lo tanto, estadísticamente

ticamente más confiable, que los núcleos o recortes.

- 9) Los retrasos, costos de muestreo y análisis de laboratorio son reducidos.
- 10) La parte principal de propiedades físicas de rocas sin alterar, son muchas veces medidas -- más fácil y confiablemente por registros geofísicos que por pruebas de laboratorio de muestras pequeñas y posiblemente alteradas.

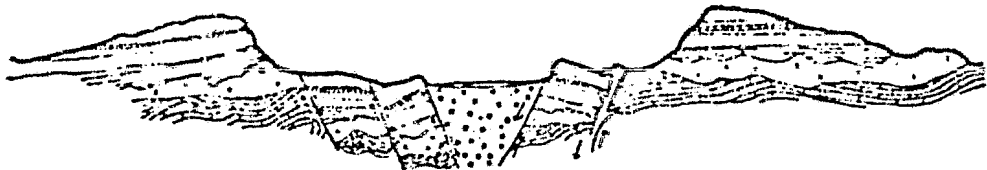
#### 2.5.1.- PROGRAMA DE REGISTROS BASICOS PARA URANIO

El programa estandar de registros gama y eléctricos para uranio fue adaptado por la industria en -- 1955 cuando la combinación de registros Gama-SP-R -- fue introducido. Hoy, un programa básico generalmente consiste de cuenta total de rayos gama naturales, resistividad (R) y potencial natural (SP) medidas hechas con un "viaje" en el pozo (SP-R).

Registro de Rayos Gama.- La sensibilidad de la mayor parte de los registros gama detecta pequeñas variaciones en las características de la actividad total gama de la composición litológica y puede ser -- usada para correlaciones estratigráficas e identificación de unidades litológicas en ausencia de radiactividad anómala (Fig. 2.12a). El registro gama puede ser usado en pozos con aire, con base de lodos, espuma o con tubería. Los equipos diseñados apropiadamente tienen una respuesta lineal para rangos amplios de intensidad gama que puede ser usado para evaluar minerales radioactivos y puede ser calibrado en unidades de uranio, torio o potasio equivalente.

Registro de Resistividad (R).- El registro de resistividad de normal corta de 16, 32 ó 64 pulgadas,





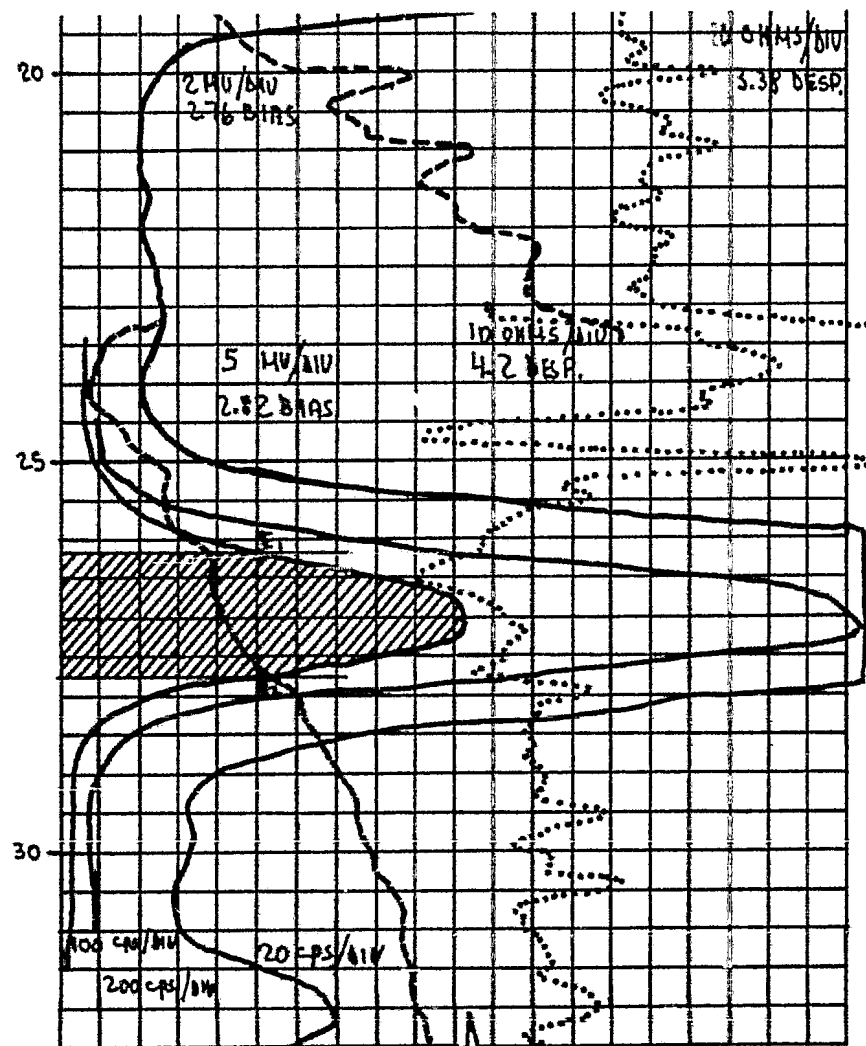
# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA MEXICO.

o alguna combinación de éstos, está siendo probada - en el campo por algunas compañías y ésta puede eventualmente reemplazar el electrodo simple. Hasta ahora, los métodos no han sido desarrollados por la industria del uranio para utilizar las ventajas de gran penetración y análisis cuantitativos; esto permanece esencialmente en litología cualitativa y correlación de registros. El espaciamiento de 32 y 64 pulgadas no resuelve estratos delgados tan bien como el punto simple de resistencia o resistividad de 16 pulgadas, ya que estratos menores de 1 pie en espesor pueden ser significativos en la geología del uranio.

Registros de Potencial Natural (SP).- Los registros de SP han venido ganando popularidad en la industria del uranio, pero esto es por el poco entendimiento de los principios básicos involucrados. Algunos de los fundamentos de las medidas de SP y las variables que influyen esta curva están siendo revisados actualmente. En su mayor parte, el registro de SP es usado por la industria del uranio para confirmar la litología y correlaciones derivadas del registro (Fig. 2.12a).

Recientes investigaciones, para relacionar el efecto SP, especialmente los potenciales "redox", para el medio ambiente de uranio enfrente de roles parecen prometedores. Mejores registros de SP están siendo obtenidos en los pozos profundos y ellos mejoran notablemente la información al correlacionarlos con los demás registros. Estos registros eléctricos son limitados a pozos sin tubería, llenos de agua o lodo.



FECHA _____	MUNICIPIO _____
BARRENO _____	ESTADO _____
PROF. REG. _____	PROYECTO _____
PROF. PERF. _____	DIAMETRO _____
EQUIPO _____	NIVEL AGUA _____
SONDA _____	K SONDA _____
FLUIDO PERF. _____	

~ cps/div    - - - SP    ····· R

FIGURA 2.12a - GRAFICA DEL REGISTRO GAMA, SP, R.

2.5.2.- INTERPRETACION CUANTITATIVA DE REGISTROS DE RAYOS GAMA.

Un método cuantitativo para determinar las concentraciones de elementos emisores de rayos gama en rocas estratificadas penetradas por pozos, ha sido desarrollado por la C.E.A. Este método está basado en la relación:

$$\bar{G}T = k \int_{-\infty}^{\infty} I dz$$

donde  $\bar{G}T$  es la ley-espesor,  $k$  es una constante de proporcionalidad,  $I$  es la intensidad del campo de rayos gama a lo largo del eje del pozo a una distancia  $z$  de un punto fijado de referencia sobre el eje. Esta relación ha sido confirmada teórica y empíricamente.

Principios básicos.- El método interpretativo se basa en la proporcionalidad entre el área corregida bajo la curva del registro y el producto de la ley media y el espesor de la capa de material radioactivo. Esta relación es expresada por la ecuación:

$$\bar{G}T = k \int_{-\infty}^{\infty} I dz \quad (2.10)$$

donde  $\bar{G}$  es la concentración media de un elemento radioactivo por peso,  $T$  es el espesor del estrato conteniendo el material radioactivo,  $k$  es una constante de proporcionalidad,  $I$  es la intensidad del campo de rayos gama en un punto sobre el eje del pozo y  $z$  es la distancia entre éste punto y un punto fijado de referencia sobre el eje.

Para aplicaciones prácticas la ecuación ha sido expresada como:  $G_y T = k A$  (2.11)

donde  $G_y$  es la ley radiométrica promedio del mineral de uranio, expresada en por ciento equivalente de  $U_3O_8$  de peso,  $T$  es el espesor de la zona en metros,  $k$  es una constante de proporcionalidad determinada por la calibración del instrumento y  $A$  es el área corregida bajo la curva del registro de rayos gama.

La validez del método ha sido demostrado empíricamente por uso de modelos a escala completa con simulación de pozos perforados a través de estratos de roca contenedora de uranio. La Fig. 2.13 muestra una sección de uno de los distintos modelos construidos con el propósito de prueba y calibración.

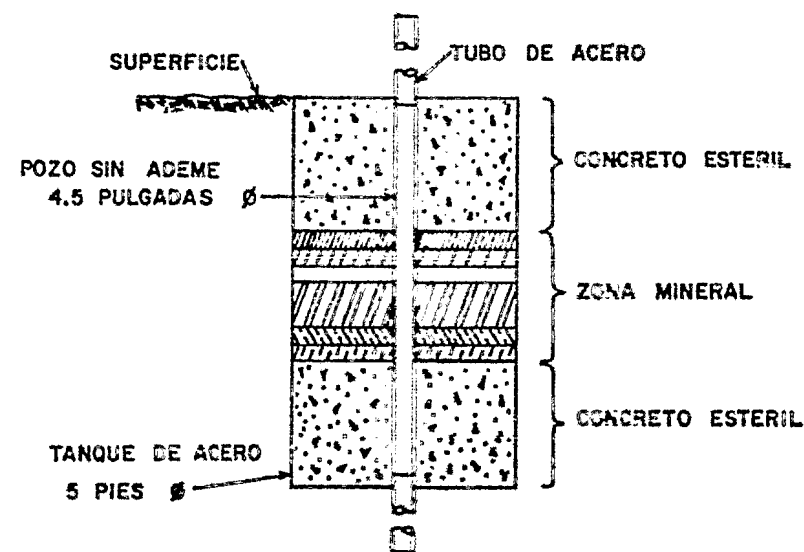
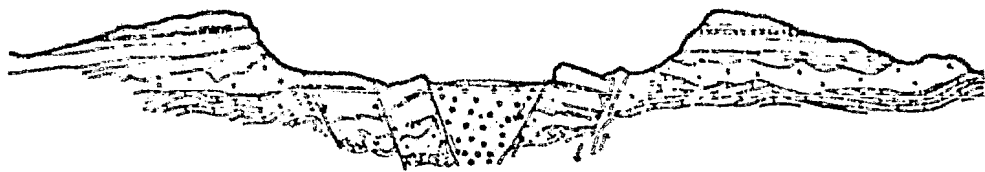


FIGURA 2.13 - MODELO DE CALIBRACION.

Cada modelo contiene estratos cementados de arenas estériles y mineral de uranio machacado. La ley media radiométrica equivalente y el espesor de cada ca



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE GONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTFOSA MEXICO.

pa es conocida exactamente. Los registros de rayos gama tienen que ser obtenidos en cada modelo y el área bajo la parte anómala de cada registro ha sido determinada y dibujada, comparada con el producto ley-espesor conocido de la zona mineral correspondiente como se muestra en la Fig. 2.14.

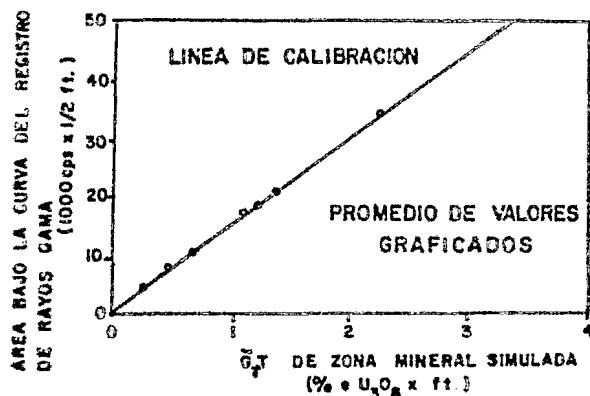


FIGURA 2.14.- DATOS DEL MODELO DE CALIBRACION PARA EL REGISTRO DE RAYOS GAMA.

En esta figura cada punto falla cerca del 3% de una línea recta dibujada a través de un valor promedio y el origen. Esto comprueba la proporcionalidad entre el área bajo la curva y el producto ley-espesor.

Nuevamente el resultado ha sido obtenido por el uso de datos de registros de rayos gama de depósitos de uranio naturales, un ejemplo de esto, es dado en la Fig. 2.15. En esta figura las áreas bajo las curvas del registro son dibujadas contra el producto ley espesor determinado por las muestras de núcleo correspondientes. La dispersión de los puntos puede ser atribuida grandemente a la inhomogeneidad del mineral de uranio natural. Comparando los datos deberá ser recordado que físicamente volúmenes de roca diferentes son muestreados en cada caso. Considerando la inhomogeneidad del material, puede no ser espe-

rada una correlación perfecta. Es significativo, sin embargo, que existe una bastante buena correlación y que el área promedio bajo la curva, cuando graficamos contra el promedio  $\bar{G}_T T$ , baja sobre la línea de calibración deducida usando los modelos. Una ventaja importante de los registros de rayos gama sobre el análisis de muestras de núcleo es que el volumen del material muestreado por el detector de rayos gama es mayor, y por tanto aproximadamente más representativo que las muestras de núcleo.

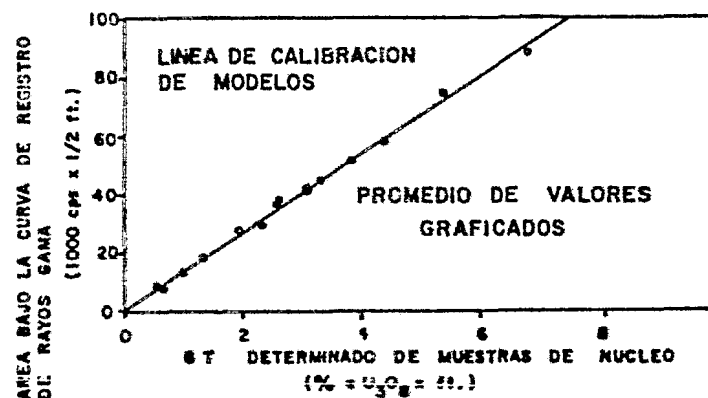


FIGURA 2.15.- DATOS DE REGISTRO DE RAYOS GAMA DE UN DEPOSITO DE URANIO COMPARADO CON LA CALIBRACION DE MODELOS.

La ecuación  $\bar{G}_T T = KA$  puede ser justificada teóricamente como sigue: La intensidad de un campo de rayos gama en un punto de medición separado de un punto de la fuente de rayos gama es dado por:

$$I_p = \frac{I_0 e^{-\mu x} B(\mu x)}{4\pi x^2} \quad (2.12)$$

donde  $I_p$  es la intensidad del campo de rayos gama en un punto de medida,  $I_0$  es la intensidad de rayos gama

iniciales,  $\mu$  es el coeficiente de absorción lineal -- del medio ambiente y  $x$  es la distancia entre el punto de la fuente y el punto de medición de los rayos gamma. En la ecuación (2.12) el término  $\mathcal{E}^{\mu x}$  es estimado por la absorción de rayos gamma por el medio ambiente. La función  $B(\mu x)$  es el tan llamado factor de arrado (reconstrucción) el cual estima el armado o reconstrucción de intensidad de rayos gamma debido a la dispersión. El término  $4\pi x^2$  es una expresión de la inversa de la ley cuadrada ya que la emanación de rayos gamma de un volumen diferencial puede ser supuesto -- que duplica el efecto de emanación de rayos gamma de un punto fuente, el punto fuente puede ser reemplazado con un volumen diferencial,  $dV$ . Si el material que está compuesto  $dV$  es mineral de uranio, la intensidad inicial de los rayos gamma ( $I_0$ ), es proporcional a el peso,  $dW$ , de  $U_3O_8$  presente en la diferencial de volumen; que es:

$$I_0 = c dW \quad (2.13)$$

donde  $c$  es una constante de proporcionalidad.

Así que la ley radiométrica equivalente de  $U_3O_8$ ,  $G_Y$ , será determinada como el porcentaje de concentración del peso,

$$G_Y = 100 \frac{dW}{\rho dV} \quad (2.14)$$

donde  $\rho$  es la densidad del mineral. Resolviendo la ecuación (2.14) para  $dW$  y sustituyendo el resultado de  $dW$  en la ecuación (2.13), obtenemos:

$$I_0 = \frac{c \rho dV G_Y}{100} \quad (2.15)$$

Una ecuación diferencial de la intensidad resultando del volumen diferencial puede ahora ser desarrollado de las ecuaciones (2.12) y (2.15):

$$dI = \frac{c \rho G_Y}{100} \frac{e^{-\mu x} B(\mu x) dV}{4\pi x^2} \quad (2.16)$$

Si el volumen diferencial y el punto de medición se dan dentro de un sistema de coordenadas cilíndricas, como se muestra en la Fig. 2.16, las dimensiones:  $r d\theta$ ,  $dr$  y  $dT$  pueden ser asignadas a  $dV$ .

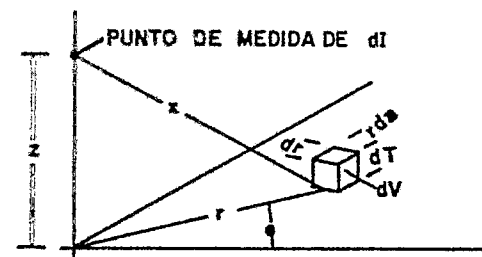


FIGURA 2.16 - VOLUMEN DIFERENCIAL  $dV$  EN UN SISTEMA DE COORDENADAS CILÍNDRICAS.

Entonces  $dV = r dr d\theta dT$ , y sustituyendo en 2.16 :

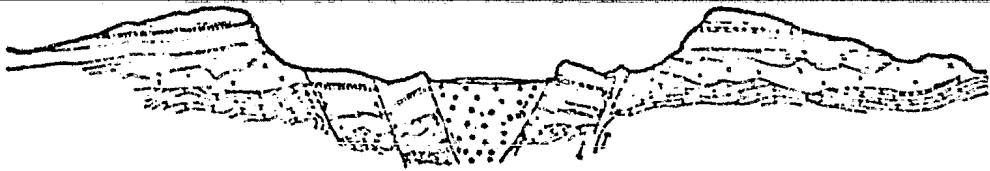
$$dI = \frac{c \rho G_Y}{100} \frac{e^{-\mu x} B(\mu x)}{4\pi x^2} r dr d\theta dT \quad (2.17)$$

De la relación geométrica mostrada en la Fig. 4  $x^2 = r^2 + z^2$ . Por lo tanto,

$$dI = \frac{c \rho G_Y}{100} \frac{e^{-\mu \sqrt{r^2 + z^2}} B(\mu \sqrt{r^2 + z^2})}{4\pi (r^2 + z^2)} r dr d\theta dT \quad (2.18)$$

Una placa de mineral de uranio de espesor  $dT$ , teniendo una perforación circular concéntrica con el eje vertical, es mostrado en la Fig. 2.17. En un punto sobre el eje vertical la intensidad de rayos gamma -- ( $I_s$ ) resultante de la placa puede ser determinada -- por la integración del elemento de volumen alrededor del eje de  $\theta=0$  a  $\theta=2\pi$ , y hacia afuera de  $r_0$  (sobre el eje de la perforación) a  $R_0$ ; Entonces:

$$I_s = \frac{c \rho G_Y dT}{100} \int_0^{2\pi} \int_{r_0}^{R_0} \frac{e^{-\mu \sqrt{r^2 + z^2}} B(\mu \sqrt{r^2 + z^2})}{4\pi (r^2 + z^2)} r dr d\theta \quad (2.19)$$



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL ARREA GERRO MONTOSA MEXICO.

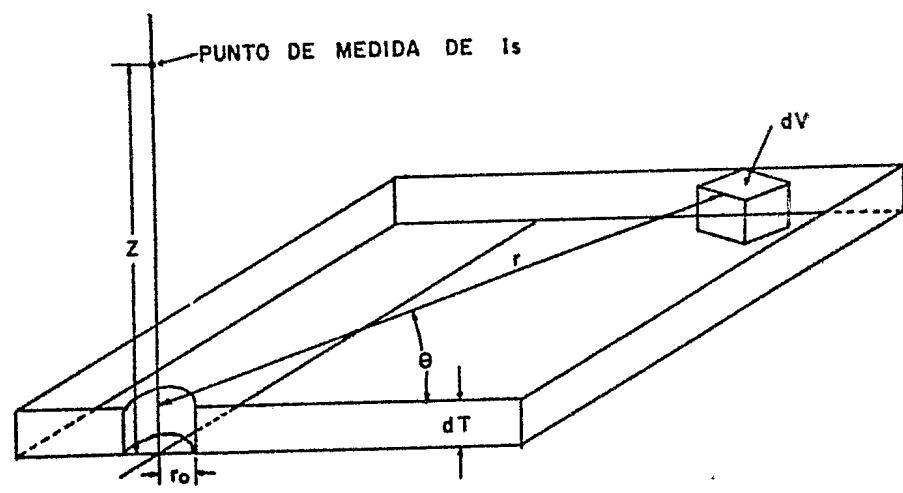


FIGURA 2.17.- INTENSIDAD DE RAYOS GAMA DE UNA FUENTE EN FORMA DE PLACA DE ESPESOR dT.

La ecuación 2.19 puede ser evaluada numéricamente. - Para el propósito de éste desarrollo es solo necesario establecer que después de la integración el integrando de la ecuación 2.19 viene a ser una función de  $\tau_0, z$  y  $\mu$  ∴

$$I_s = \frac{c \rho G_Y dT}{100} f(\tau_0, z, \mu) \quad (2.20)$$

Si los cálculos de  $I_s$  son hechos en cada punto a lo largo del eje vertical, y  $I_s$  es graficado contra  $z$ , el resultado será una curva la cual es análoga a el registro de rayos gama anómalo resultante de una placa de uranio de espesor dT, como se muestra en la Fig. 2.18.

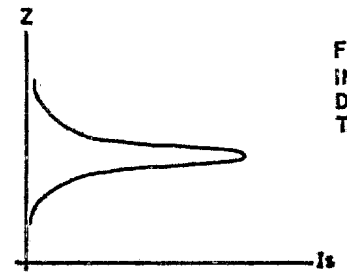
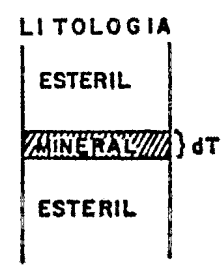


FIGURA 2.18.- CURVA DE INTENSIDAD DE RAYOS GAMA DE UNA PLACA COMO FUENTE DE ESPESOR dT.

El área bajo esta curva ( $A_s$ ) es dado por:

$$A_s = \int_{-\infty}^{\infty} I_s dz \quad (2.11)$$

Sustituyendo el valor de  $I_s$  dado en 2.10:

$$A_s = \frac{c \rho G_Y dT}{100} \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau_0, z, \mu) dz \quad (2.12)$$

Sobre la integración el integrando de la ecuación -- (2.12) se reduce a una función  $g(\tau_0, \mu)$  así que por simplicidad la ecuación 2.12 puede ser escrita:

$$A_s \propto G_Y dT \rho g(\tau_0, \mu) \quad (2.13)$$

La ecuación 2.13 indica que el área bajo la curva simple es proporcional a las veces la ley radiométrica equivalente del mineral de uranio, su espesor -- (dT), tan grande como  $\rho g(\tau_0, \mu)$  permanece sin cambiar. No obstante en aplicaciones prácticas el valor numérico de  $\rho g(\tau_0, \mu)$  puede cambiar, la proporcionalidad entre  $A_s$  y  $G_Y dT$  puede ser reestablecida aplicando correcciones apropiadas para las condiciones variables del pozo, las cuales causan el cambio. Es notado -- que las ecuaciones anteriores representan un medio ambiente que consiste de solo un medio. Para una -- analogía más perfecta las ecuaciones deberán ser desarrolladas tomando en cuenta la absorción y creación de rayos gama pasando a través de varios medios (Ejemplo: rocas, fluido de perforación y cubierta metálica de la probeta). Sin embargo, tales ecuaciones diferirán de aquellas presentadas solo por el -- grado que los términos de absorción y formación sean más complejos. La forma general de las ecuaciones -- no cambiará y la relación proporcional entre  $A_s$  y  $G_Y dT$

existirán tan grande como las correcciones requeridas sean aplicadas para las condiciones variables -- del pozo.

Una zona de mineral de uranio en rocas estratificadas puede ser considerada como una serie de placas de  $dT$  de espesor. Si la homogeneidad vertical no -- existe cada placa es caracterizada por una ley discreta. Si curvas separadas de  $I_s$  contra  $z$  son graficadas para cada placa en la serie, y esta curva es -- colocada en su yuxtaposición natural, una intensidad de curva total puede ser obtenida sumando graficamente todas las curvas individuales traslapadas, como -- se muestra en la Fig. 2.19. El área  $A$  bajo esta -- curva de intensidad total es dada por:

$$A \propto G_{Y1} dT + G_{Y2} dT + G_{Y3} dT \quad (2.14)$$

o más generalmente,

$$A \propto \bar{G}_Y T \quad (2.15)$$

donde  $G_{Y1}, G_{Y2}, G_{Y3}$  son las leyes discretas de las placas individuales,  $G_Y$  es la ley radiométrica promedio equivalente de todas las placas,  $dT$  es el espesor de cada placa y  $T$  es el espesor combinado de todas las placas. Entonces;  $\bar{G}_Y T = k A$  como se estableció previamente.

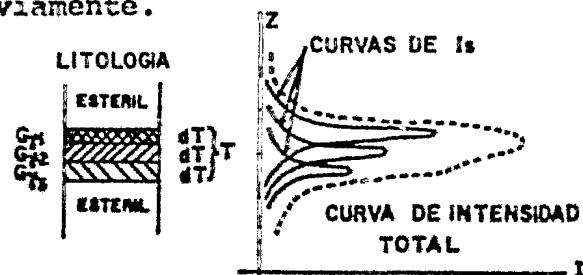
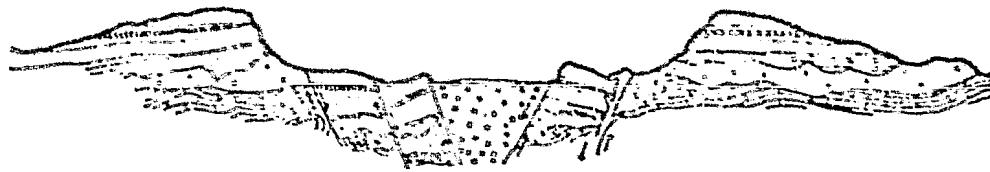


FIGURA 2.19.- CURVA DE INTENSIDAD DE RAYOS GAMA DE PLACAS COMO FUENTE DE ESPESOR TOTAL T.

### 2.5.3.- APLICACION PRACTICA.

El procedimiento paso a paso para la aplicación de la técnica se desarrolla de la siguiente manera: Primero, el espesor de la zona mineralizada es determinada de los registros de rayos gama (Fig. 2.20) y anotada sobre una hoja de trabajo (Fig. 2.21). Ha sido demostrado empíricamente que para zonas mineralizadas de 60 cm, o más en espesores que tienen límites relativamente abruptos, el límite mineralizado -- es representado por el punto de amplitud media sobre cada lado de la anomalía. Los errores en la estimación de espesores causado por el paso gradual de límites, o por espesores menores de 60 cm, están probados como insignificante en el cálculo de reservas minerales. Por lo tanto, el espesor es determinado -- calculando el intervalo en metros entre los puntos -- de amplitud media sobre la curva del registro como -- se muestra en la Fig. 2.20.

La AEC (Comisión de Energía Atómica) usa la relación  $AK = GT$  en la interpretación de registros de rayos gama donde  $A$  es el área bajo la curva,  $K$  es la constante de proporcionalidad específica para cada equipo,  $G$  es la ley buscada y  $T$  es el espesor. El área bajo la curva es determinada leyendo el valor del conteo estimado sacado del registro usando una cubierta transparente con líneas cada milímetro, o midiendo los valores intermedios sucesivos, (cada milímetro) en centímetros y multiplicándolos por el valor de la escala adecuada. Esto dará el valor del conteo observado. El siguiente paso es resolver la for-



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO. MEXICO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA

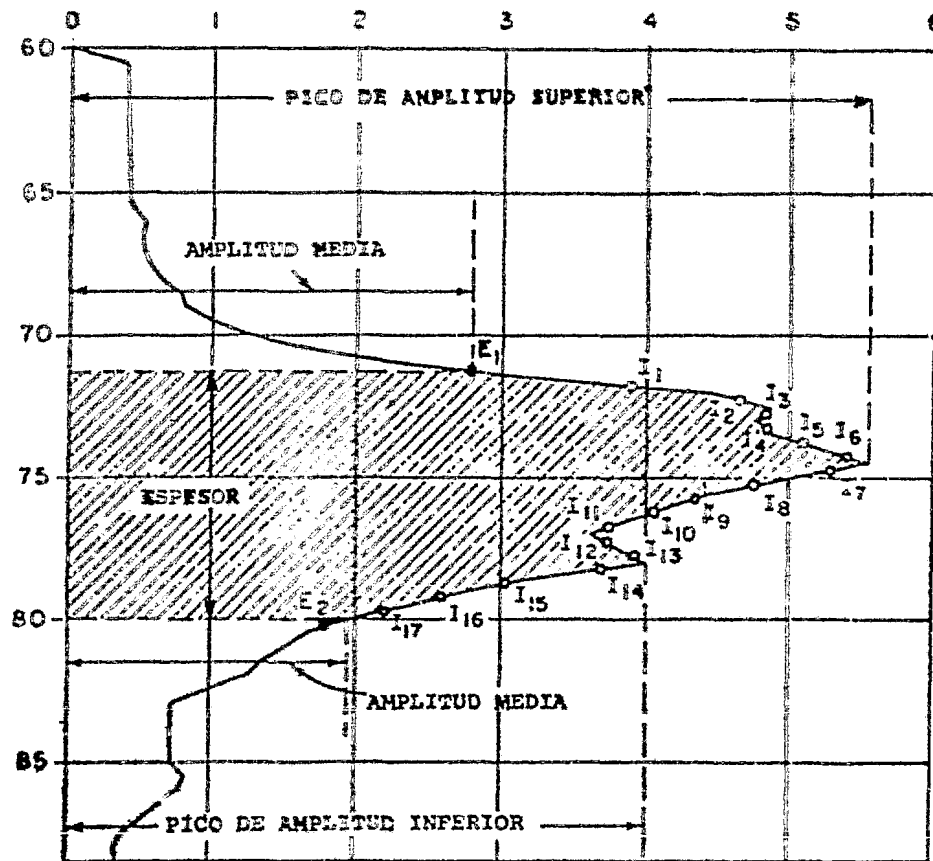


FIGURA 2.20.- DETERMINACION DE ESPESOR Y PUNTOS DE INTEGRACION NUMERICA.

mula  $N = \frac{n}{1-nt}$  para el valor de conteo corregido donde  $N$  es el valor del conteo corregido, " $n$ " es el valor observado y " $t$ " el tiempo muerto apropiado del instrumento de registro. Estos valores son anotados en la hoja de trabajo. El primer valor de conteo es leído en el punto superior de amplitud media, previamente determinado, este valor es llamado primer valor final,  $E_1$ . Los valores sucesivos intermedios de signados como  $I_1, I_2, \dots, I_n$ , son leídos en posiciones equivalentes a intervalos de 10 centímetros de profundidad en el pozo. Intervalos de 20 centímetros pueden también ser usados, es necesario en este caso tener la constante  $K$  apropiada para 20 centímetros de espaciamento, sin embargo el resultado no será tan preciso como a intervalos de 10 cm de profundidad. Particularmente, en el caso de picos delgados de zonas minerales anómalas. El último valor intermedio por ser leído es arriba del límite inferior de la zona mineral. El segundo valor final,  $E_2$  es leído un intervalo abajo del último valor, y en o justamente abajo del límite inferior del espesor calculado. El área total bajo la parte anómala de la curva puede ser subdividida en dos áreas de cola y una área central. Fig. 2.22. Cada área de cola se extiende hasta el punto medio entre un punto  $E$  y el punto adyacente  $I$ . El valor de la suma de las dos áreas de cola es aproximado por la suma de los valores calculados de conteo entre  $E_1$  y  $E_2$  multiplicado por el "factor de cola". El factor de cola es igual a 1.38 y se emplea en todos los equipos.

El valor del área entre las dos áreas de colas es determinada por la suma de los valores intermedios representados por  $I_1, I_2, \dots, I_n$ . Esta es una integración numérica de tipo trapezoidal y ha sido encon-

Hoja No. \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

**UNAM** FACULTAD DE INGENIERIA  
TESIS PROFESIONAL  
INTERPRETACION DE REGISTROS DE RAYOS GAMA

NOMBRE _____	REGISTRADOR _____	CONSTANTE K _____
PROYECTO _____	INTERPRETADOR _____	SECTA No. _____
MUNICIPIO _____	TIEMPO MUERTO (s) _____	EQUIPO No. _____
ESTADO _____	FACTOR DE AGUA (FaCa) _____	FACTOR DE COLAS (FC) _____
FECHA DE REGISTRAR _____	OTROS FACTORES (FaCo) _____	VALOR PATRON _____
FECHA DE INTERPRETAR _____	ESCALA _____	PROPORCION DE DESDOLIBRO (PD) _____

DEPLECION E (cm)	CANTO LEIDO n (cps)	CANTO CORREGIDO N (cps)	DEPLECION E (cm)	CANTO LEIDO n (cps)	CANTO CORREGIDO N (cps)	DEPLECION E (cm)	CANTO LEIDO n (cps)	CANTO CORREGIDO N (cps)
0			0			0		
1			1			1		
2			2			2		
3			3			3		
4			4			4		
5			5			5		
6			6			6		
7			7			7		
8			8			8		
9			9			9		
10			10			10		
11			11			11		
12			12			12		
13			13			13		
14			14			14		
15			15			15		
16			16			16		
17			17			17		
18			18			18		
19			19			19		
20			20			20		
21			21			21		
22			22			22		
23			23			23		
24			24			24		
25			25			25		
26			26			26		
27			27			27		
28			28			28		
29			29			29		
30			30			30		
31			31			31		
32			32			32		
33			33			33		
34			34			34		
35			35			35		
36			36			36		
37			37			37		
38			38			38		
39			39			39		
40			40			40		
41			41			41		
42			42			42		
43			43			43		
44			44			44		
45			45			45		
46			46			46		
47			47			47		
48			48			48		
49			49			49		
50			50			50		

E (cm) _____	n (cps) _____	N (cps) _____
E <sub>1</sub> _____	E <sub>2</sub> _____	E <sub>3</sub> _____
Area de Colas AC = (E <sub>1</sub> E <sub>2</sub> ) × FC = _____		
n = 2 × Escala _____		
N = $\frac{n}{1-n}$ _____		
Lmite Interior _____ m.		
Lmite Superior _____ m.		
Espesor E _____ m.		
Area A = IN + AC = _____		
Area Corregida AC <sub>c</sub> = A × FC = _____		
Ley Espesor LE = AC × K = _____		
Ley Termino Medio $\bar{X}$ = $\frac{A}{I}$ = _____ % de U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>		
Ley Corregida % U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> = $\bar{G}_c$ (PD) = _____		

FIGURA 2.21.- Hoja de cálculo.

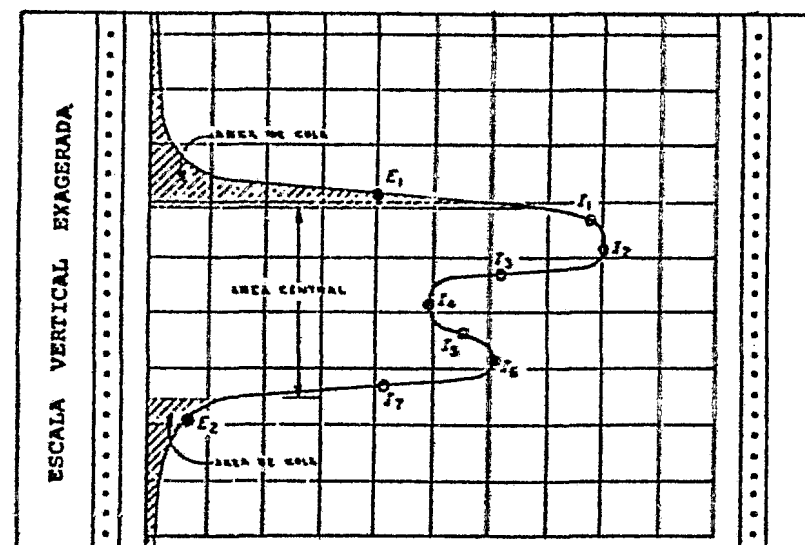
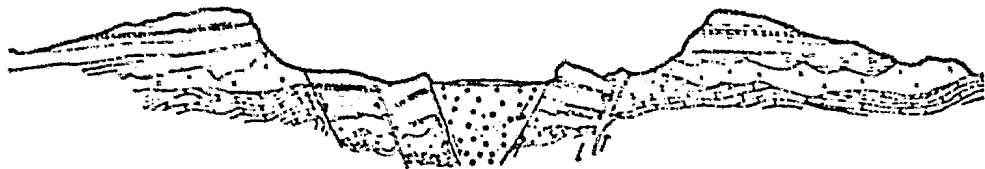


FIGURA 2.22.- DETERMINACION DE AREA DE COLAS Y AREA CENTRAL





# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA.  
MEXICO.

trada a través de la experiencia por estar dentro -- del 3% de precisión. El valor del área total bajo la parte anómala de la curva es determinada por la suma de valores de las áreas de cola combinadas y el valor del área central.

El valor del área total es multiplicado por factores de corrección tal como aquellos para diámetro de pozo, medio ambiente perforado, tubería del pozo y contenido de agua del mineral. El valor corregido resultante es entonces multiplicado por el factor de calibración K, para obtener la ley-espesor. La ley promedio de la zona es determinada dividiendo el producto ley-espesor entre el espesor de la zona calculada.

## 2.6.- ABUNDANCIA DE URANIO Y TORIO.

El uranio y el torio son elementos relativamente comunes, son de carácter "litofílico", esto es, que son concentrados en la parte superior de la corteza terrestre o litósfera. Una estimación de la abundancia de éstos elementos en la corteza terrestre, fue hecha por Fleischer (1953), con un rango de 0.2 a -- 9 ppm para uranio y de 7.3 a 20 ppm para torio. Sobre la base de los datos anteriores, el uranio es menos abundante que el cobre; níquel o zinc, pero más abundante que el oro o plata. El torio es cerca de tres veces más abundante que el molibdeno. Estas estimaciones indican que el uranio y el torio son elementos bastante comunes. Sobre las bases de esta estimación un depósito conteniendo 0.1% de óxido de -- uranio representa una concentración de cerca de 300 veces el promedio estimado de uranio en la corteza terrestre.

Rocas Igneas.- Todas las rocas ígneas contienen al menos trazas de uranio y torio. Este tipo de rocas han recibido más atención que otras debido a -- que éstas constituyen más del 90% de la corteza terrestre y por que están genéticamente relacionadas, directa o indirectamente a muchos depósitos de uranio y torio. Se han resumido los datos de la abundancia de uranio y torio en diferentes rocas en la tabla 2.8. Se observa que el torio es más abundante que el uranio; que las relaciones uranio-torio son más o menos constantes, siendo alrededor de 3.5 a 1; que los elementos muestran un enriquecimiento de rocas básicas a ácidas y que las mayores concentraciones son encontradas en rocas generalmente ricas en sílice y potasio. En todos los ciclos magmáticos el uranio y el torio se comportan como un elemento, estando ambos en concentraciones del mismo orden y tetravalente bajo condiciones de reducción, con similar radio iónico. Sus bajas concentraciones no les permite formar minerales separados en el principio de la cristalización del magma, así que, -- por éstas razones, no se introducen apreciablemente dentro de las estructuras cristalinas de la mayoría de los minerales, el uranio y el torio vienen concentrados en soluciones magmáticas residuales. Por lo tanto tienden a ser enriquecidos en las rocas más jóvenes o formadas al último. Este enriquecimiento es aparentemente continuado dentro y durante las -- etapas pegmatíticas, esto es demostrado por la relativa mayor abundancia de distintos minerales de uranio y torio en pegmatitas de grano grueso, contrastando con su escasez en rocas ígneas normales. Rahn y Sahama anotan que en pegmatitas los minera--

R O C A	URANIO PPM	TORIO PPM
<b>Igneas</b>		
Rocas gabroicas		
Evans y Goodman (1941)	0.96 ± 0.11	39.1 ± 0.6
Keevil (1938)	0.94	2.83
Rocas intermedias		
Evans y Goodman (1941)	1.4 ± 0.2	4.4 ± 1.2
Senfle y Keevil (1947)	2.27 a 3.03	9.28 a 10.5
Rocas graníticas		
Evans y Goodman (1941)	3.0 ± 0.3	13 ± 2.0
Keevil (1938)	2.77	7.94
Senfle y Keevil (1947)	3.84 a 4.02	13.1 a 13.5
<b>Sedimentarias</b>		
Caliza		
Adams y Weaver (1958)	2.1 ; 2.2	1.1 a 2.4
Lutita		
Adams y Weaver (1958)	3.7 ± 0.5	12 ± 1
Arenisca		
Murray y Adams (1958)	0.45 ± 0.05	1.7 ± 0.1

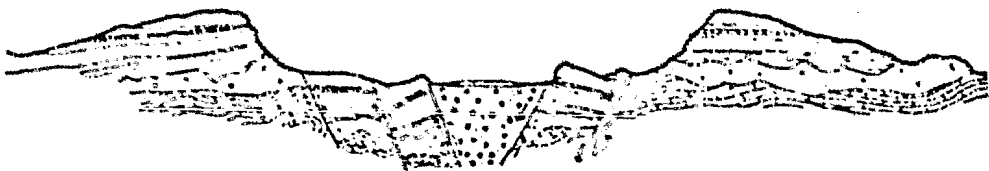
TABLA 2.8- Contenido de uranio y torio de algunas rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

les ricos de uranio son formados durante la última etapa de depósito. Su relativa gran abundancia de éstos elementos en rocas graníticas puede ser correlacionado, en parte, con su presencia como constituyente sustitutivo en ciertos minerales accesorios comunes en estas rocas, los más notorios son el zircón titanita y allanita. Los experimentos en laboratorio han mostrado, sin embargo, que mucho del uranio y torio de algunas rocas ígneas puede ser lixiviado por dilución de minerales ácidos, indicando que

en los componentes pueden también ocurrir en alguna forma otros de los minerales accesorios insolubles. Neverbug (1956) considera que el uranio puede ocurrir en rocas ígneas en las siguientes formas: como minerales separados; depositados en la estructura de las rocas minerales por átomos o iones de uranio --- substituyendo algunos átomos o iones, y por imperfecciones estructurales, como a lo largo de un contacto, absorbido sobre la superficie de cristales; disuelto en fluidos de inclusión y en fluidos intergranulares.

Larsen y Phair (1954) postularon que durante la última etapa magmática un cambio tiene lugar que permite al uranio ser transportado en las soluciones hidrotermales, permitiendo al torio cristalizar en la mezcla final rica en sílice. Se atribuye éste fenómeno a un cambio en las condiciones de oxidación en la última etapa magmática, en el cual el uranio es convertido a un estado hexavalente, cuyos compuestos son altamente solubles en contraste con los tetravalentes de uranio y torio. El torio, teniendo solo una valencia estable es bien explicado por su casi completa ausencia en depósitos hidrotermales del tipo pechblenda.

Rocas Sedimentarias,- Las rocas sedimentarias generalmente muestran mayor variación en sus contenidos de uranio y torio que en las rocas ígneas. De acuerdo a Adams y Weaver (1958), la relación uranio a torio de rocas sedimentarias varía de menos de 0.02 a más de 21, la relación en muchos sedimentos continentales oxidados es arriba de 7 a 1. La diversidad en las relaciones de sedimentos continentales y marinos refleja una separación al principio de uranio y torio en el ciclo sedimentario, proporcional-



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE GONNETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA MEXICO.

mente el uranio es más abundante en los eceános. Esta separación se cree es debida a la gran movilidad del uranio en solución y a la mayor naturaleza refractaria de los minerales de torio. Durante la alteración de las rocas un poco de uranio y torio es lixiviado por aguas superficiales y subterráneas, otra parte permanece fijado en minerales resistentes; éstos minerales pueden acumularse cercanos a la fuente original o pueden ser reducidos por roce y ser llevados y depositados con sedimentos clásticos, principalmente en medios ambientes cercanos a la costa. El uranio que es lixiviado de las rocas forma compuestos solubles de uranio que son fácilmente estables en un ambiente de oxidación, el elemento puede, por lo tanto, ser llevado lejos siendo precipitado o siendo fijado de otra forma en rocas sedimentarias, y una parte finalmente alcanzando el océano. Por otra parte, el torio es fácilmente hidrolizado, se lixivia y se acumula considerablemente con el hidrolizante, esto es, lutitas y rocas afines. Una combinación de los factores anteriores probablemente se considera para la relativa gran concentración de uranio en aguas oceánicas. El uranio que es llevado en solución puede ser disuelto y fijarse en sedimentos en formas diferentes. Puede ser precipitado como compuesto insoluble; puede ser absorbido por las arcillas y por sales hidróxidos de fierro, aluminio y manganeso, y gel de sílice; o puede ser sustituido isomorficamente por calcio en precipitados químicos, como las fosforitas. La materia carbonosa es particularmente un precipitante efectivo de uranio debido que éste crea un medio ambiente de fuerte reducción; puede también absorber relativamente grandes canti-

dades de uranio de las soluciones. La materia orgánica también absorbe uranio. Datos recientes sobre la abundancia de uranio y torio en calizas, lutitas y areniscas son presentadas en la tabla 2.8. Las fosforitas marinas comunmente contiene de 0.005 a 0.03% de uranio.

Considerando las rocas sedimentarias como un todo, vemos evidente que mucho del uranio y del torio ocurre en minerales resistentes en los cuales los elementos son constituyentes esenciales o substitutivos o contenido como inclusiones. Esto es porque durante la alteración debida a los agentes atmosféricos de las rocas con minerales de uranio varía a óxidos hidratados que son escasamente solubles (Rankama y Sahama, 1950, p.636); debido que los minerales de torio son conocidos por ser fuertemente resistentes al intemperismo, y porque muchos minerales en los cuales el uranio y el torio son constituyentes no esenciales, éstos son refractarios. Aún en calizas y dolomitas, Adams y Weaver (1958) han concluido que mucho del torio y aproximadamente 20% del uranio ocurren en detritos en la fracción ácida-insoluble. Debido a que muchos minerales de uranio y torio resisten al intemperismo y poseen un peso específico alto, las concentraciones de ellos frecuentemente ocurre en placeres.

Ríos y Mares.- Trazas de uranio y torio están presentes en aguas de ríos y mares. Los contenidos en ríos son extremadamente variables, debido a que éstos son afectados local y regionalmente por diferencias en la composición del terreno. Koczy (1954) reporta que el contenido de uranio en los ríos observa un rango de 0.3 a 20 o más, microgramas por litro. El contenido de uranio de los mares es también porque

ño, pero muestra considerablemente una variación menor, el mismo Koczy (1956) propone un valor de  $2 \pm 1$  microgramos por kilogramo de agua de mar. Las determinaciones de la abundancia del torio son escasas, probablemente debido a la dificultad de analizar por trazas pequeñas. El contenido del torio en agua de mar es reportada por Mason (1958) como 0.000001 a -- 0.00001 gramos por tonelada.

Una observación interesante es que el agua de mar contiene menos radio que el esperado bajo condiciones de equilibrio con sus contenidos de uranio, mientras que los estratos de los sedimentos de las aguas profundas del mar contienen grandes cantidades anormales de radio. Pettersson (1954) sugiere que esta anomalía es causada por la precipitación selectiva del  $\text{Th}^{230}$ , que es pariente del radio, el cual se acumula sobre el piso marino.

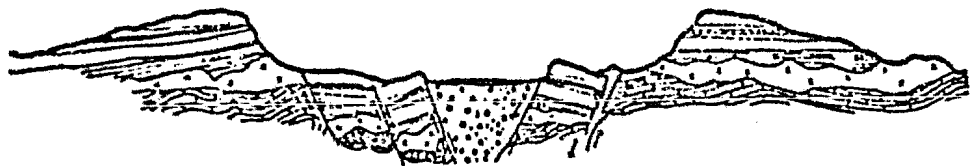
#### 2.6.1.- PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL URANIO.

El uranio es el más abundante de los elementos -- que ocurren en forma natural, teniendo un peso atómico de 238.07 y número atómico 92. En esta forma natural consiste de una mezcla de tres isótopos de masas 234, 235 y 238, los cuales están siempre presentes en una proporción constante. La propiedad física mayor del uranio es su radiactividad. La característica química general del uranio es la de un fuerte agente reductor, particularmente en soluciones -- acuosas.

El uranio metálico es obtenido por la reducción de óxidos de uranio. El metal es negro sobre rompimientos frescos o superficies pulidas recientemente, pero se empaña o mancha rápido expuesto al aire, ge-

neralmente en cuestión de horas. Tiene una densidad de 19.05, que es aproximadamente dos y media veces la del Acero, es duro, pero no completamente tan duro como el acero, es capaz de tomar gran tersura, es maleable y dúctil. El metal puede ser forjado, contraído o estirado en altas temperaturas o puede ser trabajado frío; es un pobre conductor de electricidad, su conductividad es casi la mitad de la del hierro, con resistividad de 30 microhoms-cm, es débilmente paramagnético. El punto de fusión del metal es de  $1133^{\circ}\text{C}$ , lo cual es aproximadamente  $50^{\circ}$  más alto que el del cobre y  $400^{\circ}$  menos que el del hierro. La resistencia de tensión final del uranio varía entre 50 000 y 200 000 p.s.i., dependiendo de la muestra; la preparación en frío da la mayor resistencia de tensión.

El uranio tiene muchas propiedades químicas comunes con el cromo, tungsteno y molibdeno. Es muy --- reactivo químicamente, se combina fácilmente con todos los elementos no metálicos, especialmente cuando está en forma finamente dividido. Reacciona vigorosamente con fluor y bromo, siendo caliente e incandescente en éste proceso. Puede ser mezclado con casi todos los otros metales para formar compuestos -- metálicos sepultados, los cuales varían considerablemente en propiedades físicas y reactividad química. El metal es disuelto por ácido nítrico diluido y por ácido clorhídrico diluido y con la adición de un --- agente oxidante por el ácido sulfurico diluido. El uranio es un elemento principalmente tetravalente -- con valencia de 3, 4, 5 y 6. Forma varios óxidos, -- los más comunes son los de "Óxido Uranoso" ( $\text{UO}_2$ ), -- "Óxido Uránico" ( $\text{UO}_3$ ) y el "Óxido Uranoso-Uránico" --



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO. MEXICO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA MEXICO.

( $U_3O_8$ ). El Oxido Uranoso es un polvo negro tirando a moreno que muchas veces forma una oxidación empañando el metal de uranio; ésto puede también ser -- formado por la reducción de uno de los óxidos superiores o más altos. El Oxido Uránico es naranja a rojo, y es formado por calentamiento de las mezclas de uranio en aire a una temperatura de cerca de 500° C. El Oxido Uranoso-Uránico es un polvo verde a negro que es producido por calentamiento de otros óxidos en el aire a 1000°C. Se cree que el  $U_3O_8$  consiste de una mezcla de óxido uranoso y óxido uránico, -- probablemente en la proporción  $UO_2 + 2UO_3$ . El óxido uranoso-uránico ( $U_3O_8$ ) es la forma aceptada para reportar los resultados de análisis de uranio. Una razón es que éste, es el producto final probado en algunos métodos de análisis. Un cuarto óxido, el monóxido de uranio (UO), ha sido identificado como una delgada capa superficial sobre el uranio metálico. -- El uranio es "anfotérico" actuando como base para -- formar sales tales como cloruro uranoso (URANOUS --- CLORIDE), o como un ácido para formar compuestos tal como el uranato de sodio (SODIUM URANATE). Muchos -- compuestos o mezclas de uranio tienen fluorescencia bajo los rayos de una lámpara ultravioleta. La posición del uranio en las series electromotrices no es conocida exactamente pero ésta se presenta cercano a la del Berilio.

## 2.6.2.- PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL TORIO.

El torio fue descubierto en 1817 por J.J. Berzelius, le llamó Thor, el Dios Escandinavo de la guerra. El elemento fue producido en su forma metálica por primera vez en 1928. Sus propiedades radiactivas fueron reconocidas en 1898, dos años después del

descubrimiento de radioactividad en el uranio.

El torio es un metal pesado, de color plata-gris teniendo la dureza y apariencia del platino. Expuesto en la atmósfera, la superficie del metal pierde lustre y finalmente se forma negro. El torio tiene una densidad de 11.7 la cual es un poco mayor que la del plomo. Se funde a 1842°C; tiene un peso atómico de 232.05 y el número atómico 90, con resistividad -- de 13 microhoms-cm. El torio natural tiene solo un isótopo de masa 232. El torio es producido por la -- reducción electrolítica de sales de torio y por reducción de óxidos de torio.

El torio forma solo un óxido: Dióxido de torio -- ( $ThO_2$ ). Forma compuestos con los halógenos y con -- sulfuros, nitrógeno, carbono, boro y sílice. También forma compuestos intermetálicos con muchos elementos metálicos. El torio metálico es disuelto por ácido nítrico y por agua regia, y lentamente por otros ácidos; no es atacado por álcali fuerte. Cuando se calienta en aire éste arde brillantemente formando dióxido de torio en forma de polvo blanco.

## 2.6.3.- CARACTERISTICAS GEOQUIMICAS GENERALES.

El uranio ocurre en la naturaleza en forma tetravalente ( $U^{+4}$ ) y hexavalente ( $U^{+6}$ ). Hasta donde es -- conocido siempre es tetravalente en los minerales -- primarios y hexavalente en minerales secundarios --- (Frondel). El torio siempre ocurre en forma tetravalente ( $Th^{+4}$ ). Los iones tetravalentes de uranio y torio, los cuales son simples átomos deficientes -- en electrones, tienen radio casi idénticos, el del -- uranio es 1.05 angstroms ( $1.05 \times 10^{-8}$  cm) y el del torio 1.10 angstroms. Debido a la similitud de sus ra

dios iónicos puede sustituirse uno por otro en la red cristalina. Por ésta razón la mayoría de minerales primarios de uranio contienen torio, y la mayoría de minerales de torio contienen uranio. Los iones tetravalentes pueden también ser sustituidos por calcio ( $\text{Ca}^{+2}$   $\pm$  1.06 Å), por cerio ( $\text{Ce}^{+4}$   $\pm$  1.02 Å), y en forma limitada por el zirconio ( $\text{Zr}^{+4}$   $\pm$  0.87 Å); ellos son frecuentemente encontrados en ciertos minerales, tales como apatita, titanita, monazita y zircon. Los iones de uranio y torio son mucho mayores que la mayoría de los elementos comunes y tienen valencia alta.

El uranio tiene una cerrada afinidad con el carbono, por lo tanto, en muchas partes del mundo es encontrado en carbón, lignita, turba, lutitas bituminosas y carbonosas, y otras sustancias carbonosas. El uranio parece no estar asociado genéticamente con carbono en estas sustancias; su presencia en la mayoría se cree es debido a procesos secundarios. Ciertos carbones uraníferos y lignitos, aparecen por tener precipitado o absorbido este uranio de soluciones migrantes que tienen disuelto el uranio de rocas asociadas, debido a la afinidad natural entre carbono y uranio.

#### 2.6.4.- USOS DEL URANIO.

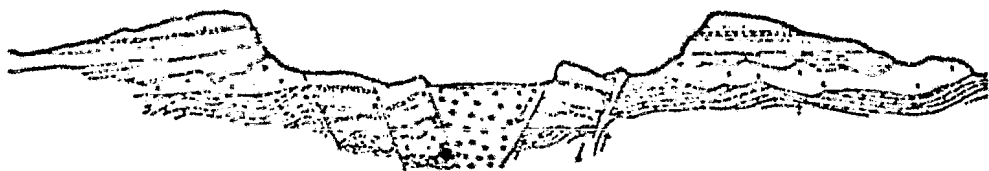
Aparte de la demanda militar, la mayor parte del uranio producido es usado como combustible en reactores nucleares. Los reactores abastecidos con uranio son vasijas excesivamente protegidas en el cual los átomos de uranio se desdoblán o fisiónan bajo condiciones controladas para liberar grandes cantidades de calor y gran número de neutrones. La cantidad de calor liberada por fisión de una libra de uranio 235

es igual a la obtenida de la combustión de 1500 toneladas de carbón.

Los reactores pueden ser clasificados dentro de tres grupos principales: investigación, producción y potencia. Los reactores de investigación fueron los primeros en ser construidos y continúan siendo de gran importancia para la investigación y producción de radioisótopos. Algunos son diseñados primeramente para la producción de combustibles artificiales tal como el plutonio, de aquí el nombre de reactores de producción.

En los reactores de potencia la energía calorífica liberada en el proceso de fisión es usada para convertir agua en vapor, el cual es usado para impulsar un turbo generador. Se espera que la generación de electricidad por estaciones de potencia nuclear sea el más importante uso del uranio en término de las cantidades requeridas, en un próximo futuro la producción de energía eléctrica en el mundo será derivada del combustible nuclear. Las estaciones de potencia nuclear están en operación en varias Naciones y otras más tienen plantas bajo construcción. Algunas grandes estaciones de potencia nuclear están en una etapa avanzada de construcción y una estación de 1000 megavatios, la mayor en el mundo, está siendo recientemente anunciada. Esta estación requerirá un abastecimiento inicial de combustible de más de 1000 toneladas de uranio natural, y más de 100 toneladas cada año para su operación.

Hasta ahora existen programas de desarrollo de potencia nuclear y un gran programa coordinado está siendo llevado a cabo. En otros lugares del mundo, particularmente en los países menos desarrollados, se



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA MEXICO.

está viendo a la energía nuclear como una adición importante en su desarrollo. En todos los programas - el objetivo principal es el desarrollo económico de la energía nuclear. El buen éxito de estos programas garantizará que la energía nuclear sea aprovechable dondequiera, en donde una fuente nueva de energía sea requerida para complementar las ya existentes.

Los reactores nucleares tienen aplicaciones importantes como unidades de propulsión para submarinos y barcos. El destacado éxito de los submarinos nucleares es bien conocido, y es esperado que las flotas - del mundo se convertirán rápidamente a la energía nuclear. Así como en la producción de electricidad, - el combustible de uranio proporcionará un incremento en la cantidad de la energía requerida por los barcos y submarinos del mundo.

Aunque solo el uranio 235 se presenta como uranio natural, se emplea inmediatamente como combustible - del reactor, cualquier uranio 238 en el reactor es - parcialmente convertido a plutonio, otro combustible. Similarmente, cualquier torio presente es parcialmente convertido en otro combustible de reactor, uranio 233. Algunos reactores de investigación, llamados - reproductores o de cría pueden actualmente producir más combustible nuevo que el que consumen. El desarrollo de reactores de energía comerciales permitirá mayor eficiencia en el uso del uranio y también permitirá el uso del torio más abundante. Sin embargo se considera que "la super abundancia de uranio esta planeada para las dos siguientes décadas lo que muestra que no es un problema urgente".

Las investigaciones han sido llevadas sobre la po

sibilidad de desarrollar los reactores de fusión nuclear en los cuales los isótopos de hidrógeno pueden ser unidos para formar helio, con el desprendimiento de mucha energía en forma de calor. Si los rápidos pasos hechos en fisión nuclear durante los últimos - años son considerados, la posibilidad de que éstos - procesos puedan ser desarrollados a un punto donde - pueda abastecer energía económica no pueden ser ignorados. Se estima que serán necesarios 20 años para desarrollar éste proceso.

En resumen a lo anterior, el uranio tiene aplicaciones limitadas en las industrias química, eléctrica, vidriera y de la cerámica, además el consumo de estas industrias no es más de unas cuantas toneladas al año en la actualidad. Debido a su reactividad -- con gases ordinarios, el uranio puede ser empleado - para limpiar Argón y otros gases inertes de impurezas gaseosas, tales como el hidrógeno y nitrógeno. - Hampel (1954) estableció que el uranio es en alto -- grado conveniente como una protección contra poderosos emisores de rayos gama, al igual que el radio y el cobalto 60. El uranio puro por sí mismo emite rayos alfa; Hampel cita un ejemplo donde 950 libras de uranio proporcionan defensa equivalente de 3330 libras de plomo para una unidad de terapia de cobalto 60. El uranio puede ser mezclado con muchos otros - metales y la investigación en éste campo está siendo continuada activamente, especialmente para encontrar mezclas o aleaciones apropiadas para los propósitos de la industria nuclear, los cuales requieren ser -- fuertemente resistentes a la corrosión.

La producción de isótopos radioactivos en reactores nucleares es cada vez más importante en la indus

tria incrementándose en el futuro. Los isótopos radioactivos son hechos intercalando materiales como fósforo, acero, cobalto, etc.; dentro de un reactor nuclear donde son bombardeados como neutrones. Los isótopos producidos de ésta forma tienen tantos usos que sería impráctico enumerarlos pero el siguiente ejemplo servirá para mostrar esta versatilidad. Uno de los usos comunes industriales es para graduar midiendo y controlando automáticamente el espesor de varios materiales durante su manufactura, tales como papel, linoleum, hojas metálicas, etc. En esta aplicación el material es medido pasando entre una fuente de isótopos y una unidad detectora, el espesor del material será proporcional a la cantidad de material absorbido. Los isótopos emisores de gama son usados para detectar grietas y defectos en placas metálicas, tubería, juntas soldadas, etc., por radiografías usando el mismo principio que es usado en tomar una fotografía ordinaria de Rayos X. En medicina, los isótopos son usados para tratar enfermedades de la sangre, para localizar y tratar tiroides, y para irradiar males cancerosos. Los isótopos son usados extensivamente en agricultura, biología y otras ramas de investigación, así como en la esterilización de alimentos. Son también muy usados como "trazadores", sus ventajas principales es que pueden ser detectados en cantidades extremadamente pequeñas. Los trazadores son usados para localizar fugas de conductos de agua y petróleo fluyendo en las líneas petroleras, para controlar el procesamiento de minerales, etc. Algunos isótopos emiten poderosos rayos gama y debe ser manejado con precauciones especiales, debe ser embarcado en envases bien protegidos.

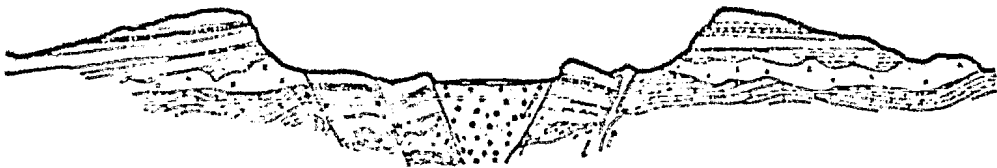
#### 2.6.5.- USOS DEL TORIO.

Un cambio notable en la tecnología del torio ocurre en 1957. Por décadas antes de este año, el torio estaba siendo usado principalmente en su forma de óxido en la manufactura de mecheros incandescentes, y éstas son aplicaciones limitadas para el metal. En 1957 el consumo de torio metálico superó grandemente al del óxido. Esta inversión del consumo fue debido principalmente al desarrollo de la aleación del torio-magnesio, el cual, debido a su gran resistencia de tensión a altas temperaturas, ha encontrado un lugar en la industria aérea. Esta y otras aleaciones de torio probablemente encontrarán nuevos usos y presentará que ellos ofrecen la mayor promesa dentro del campo no energético del torio.

Aparte de sus usos como un constituyente de aleaciones, éstas son pocas aplicaciones industriales para el metal en el presente. Hampel (1954) estableció que la baja resistencia de tensión, el bajo módulo elástico y pobre resistencia a la corrosión atmosférica elimina al torio de la lista de materiales estructurales. El torio metálico es usado como un desoxidante en metales tales como el molibdeno y sus grandes aleaciones, y también en tubos y lámparas electrónicas, para controlar voltajes de entrada y mantener estabilidad durante su vida de uso.

El óxido de torio continua siendo principalmente usado en la manufactura de mecheros incandescente. Estos son hechos de óxido de torio conteniendo 1% de óxido de cerio y son generalmente construídos en la forma de una pequeña bolsa de malla; estas bolsas o capuchones son familiares para personas que han usado lámparas de gas o gasolina, en las cuales los ca-





# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL TERRITORIO MEXICANO.

SIERRA MADRE OCCIDENTAL Y SIERRAS Y VALLES PARALELOS

puchones dan una luz blanca brillante. Algunos óxidos de torio son usados en la manufactura de compuestos de óxidos de torio-tungsteno por la industria -- electrónica y de iluminación. Los óxidos de torio - tungsteno son también usados en la fabricación de -- electrodos para operaciones de soldadura y como electrodos no-consumibles en el arco fundente de la transición de metales (Hampel 1954). Debido a su punto extremadamente alto de fundición, el óxido de torio ha sido usado como un material refractario. Algunos óxidos de torio son usados en la industria química y algunos como compuestos para pulir. El torio por sí mismo no es combustible de reactores nucleares pero, como se mencionó previamente, cualquier torio presente en un reactor es parcialmente convertido en un -- nuevo combustible, uranio 233. Los experimentos están siendo conducidos dentro de las posibilidades de producir uranio 233 del torio. El torio-uranio 233 tiene un ciclo que se dice será preferible, metalúrgicamente y químicamente, a el uranio 238 en el ciclo del plutonio (Cockroft, 1958). Esto no es esperado, por esto, las grandes cantidades de torio serán requeridas por reactores nucleares en un futuro cercano.

## 3.- APLICACION DEL METODO,

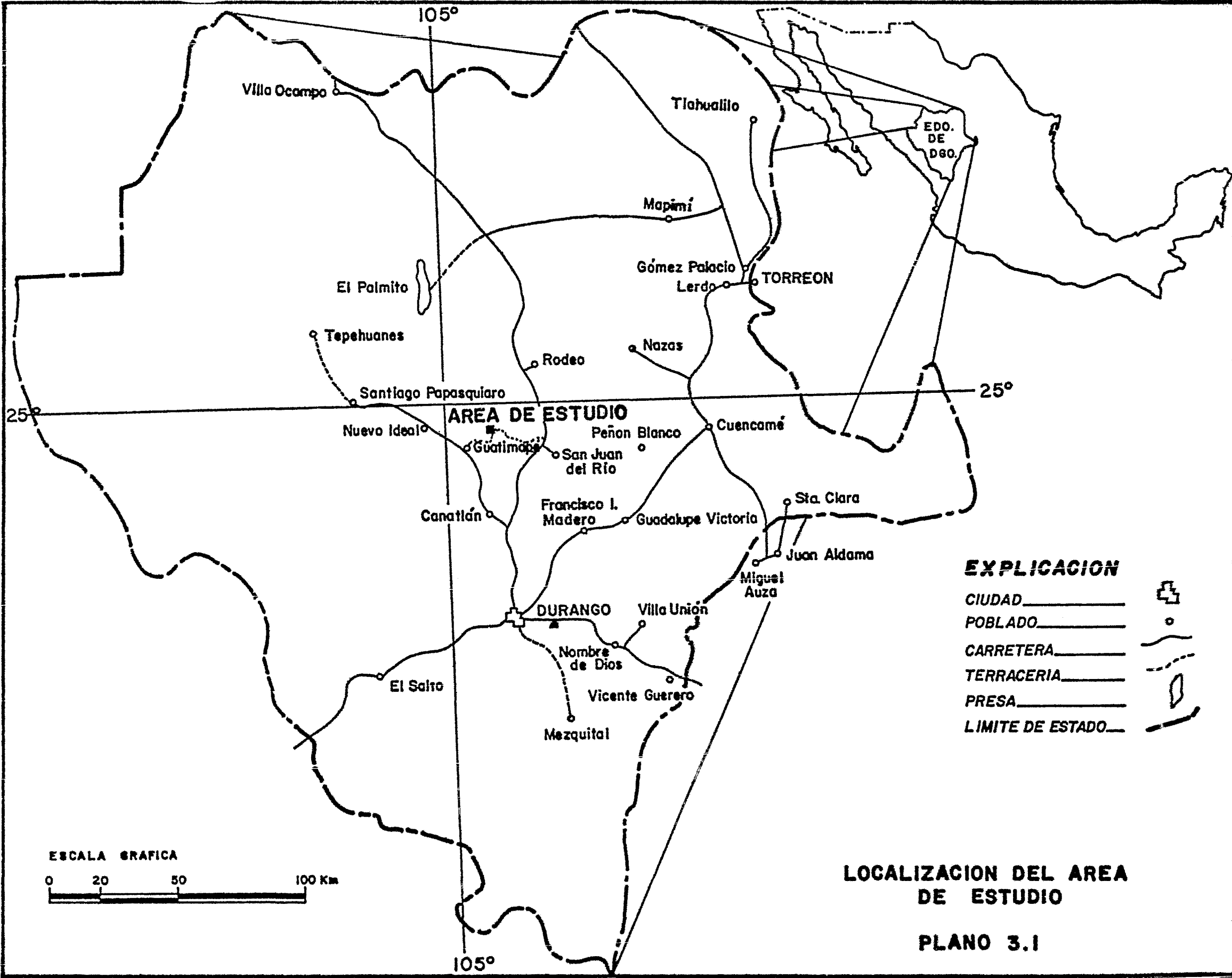
### 3.1.- LOCALIZACION Y ACCESO,

La Sierra de Coneto se sitúa a unos 100 Km en línea recta hacia el Norte de la Ciudad de Durango, y queda comprendida entre los paralelos  $24^{\circ} 50'$  y  $25^{\circ} 00'$  de latitud norte y entre los meridianos  $104^{\circ} 40'$  y  $104^{\circ} 52'$  (ver plano de localización No. 3.1), ocupa un área de  $36 \times 8 \text{ Km}^2$  aproximadamente, orientada en dirección NW-SE y se localiza en la hoja topográfica de Degetenal G13 D51 "GUATIMAPE", con escala -- 1:50,000. El cerro de La Montosa se localiza en la -- porción NW de la sierra de Coneto y cubre un área de  $4.5 \text{ Km}^2$ . plano 3.3.







La Sierra de Coneto, pertenece a los municipios -- de Canatlán y Coneto de Comonfort, para su acceso se toma la carretera Internacional Durango-Parral, hasta el Km 55, de donde parte la desviación hacia Santiago Papasquiaro, Dgo., misma que conduce a Guatimape, Dgo., a través de aproximadamente 65 Km de donde -- parte un camino de terracería en buenas condiciones, -- mismo que conduce al puerto de Coneto, pasando por el 11 de marzo haciendo un recorrido aproximado de 17 Km (plano 3.2). Las coordenadas geograficas del área de estudio son: paralelos  $24^{\circ} 55' 30''$  y  $24^{\circ} 57' 39''$  latitud norte y meridianos  $104^{\circ} 45' 20''$  y  $104^{\circ} 49' 00''$  -- longitud oeste (plano 3.4).

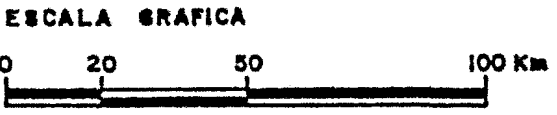
#### 3.1.1.- FISIOGRAFIA.

La Sierra de Coneto (S de C) está constituida por -- una alineación de elevaciones con rumbo NW y está ubicada en los límites de las provincias fisiográficas -- Sierra Madre Occidental (SMO) y Sierras y Valles paralelos (Rais, 1964). Es en la región junto con el -- Area del Mezquite y la Sierra de Gamón, los primeros



**EXPLICACION**



- CIUDAD \_\_\_\_\_ 
- POBLADO \_\_\_\_\_ 
- CARRETERA \_\_\_\_\_ 
- TERRACERIA \_\_\_\_\_ 
- PRESA \_\_\_\_\_ 
- LIMITE DE ESTADO \_\_\_\_\_ 



**LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO**

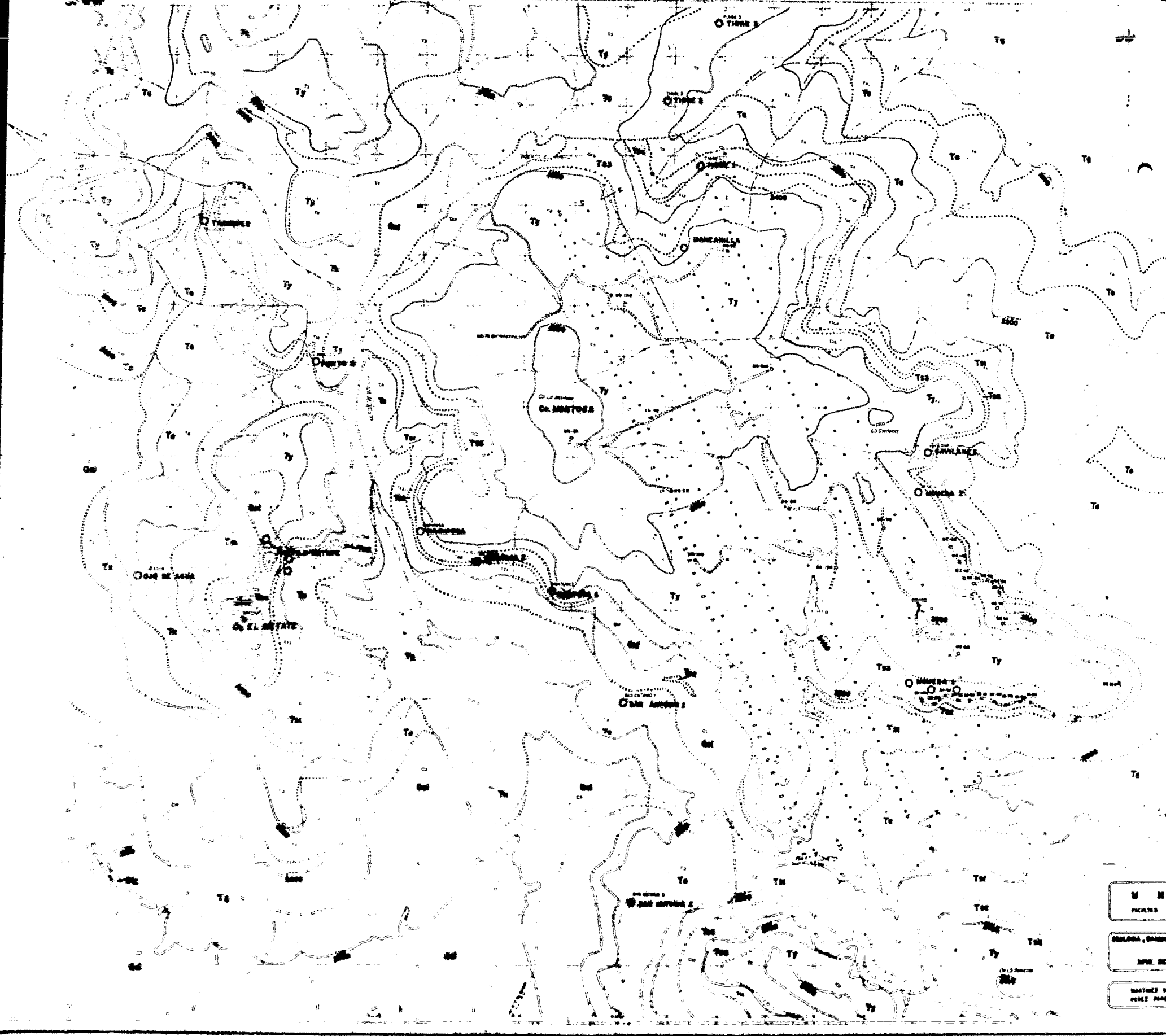
**PLANO 3.1**



 AREA EL MEZQUITE  
 AREA SIERRA DE CONEJO  
**ACCESO AL AREA DE ESTUDIO**  
**PLANO 3.2**

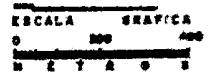
Vertical text and markings at the top of the page, possibly a header or index.





EXPLICACION

- Qal** ALUVION, SUELO RESIDUAL Y DEPOSITO DE TALLO
- Ty** FORMACION YERBALENA
- Tss** MIEMBRO SUPERIOR
- Tsz** MIEMBRO INTERMEDIO
- Tsi** MIEMBRO INFERIOR
- Ta** FORMACION ALMIRANTE
- To** FORMACION OCAIMPO
- Tg** FORMACION BOTERA
- Ciz** CALIZA MONTOSA
- CONTACTO LITOESTRATIGRAFICO
- FALLA NORMAL
- FALLA NORMAL INFERIDA
- ARROYO
- CURVA DE NIVEL CADA 100 M
- ANOMALIA RADIACTIVA



**M N A M**  
 PUNTO DE MEDIDA

ESCUELA, GRADOS DE ASESOR Y LIAISON DE INGENIEROS  
**CERRO MONTOSA**  
 NIVE. DE SERVICIO DE COMANDO, 2000

DISTRICTO NACIONAL JOSE M. PARRA  
 PUNTO DE MEDIDA

**3.4**

afloramientos importantes de rocas ácidas que integran más al oeste la "SMOC". La vertiente occidental de la S.d.C. drena a la Laguna de Santiaguillo, - su vertiente oriental es afluente del río Nazas. Las elevaciones prominentes son Mesa Alta, C° Montosa, - C° Pimienta, C° Grullas que varían entre 400 y 600 - metros de altitud sobre el nivel de la Laguna de Santiaguillo. La S.d.C. es un extremo o prolongación de la Sierra de Promotorio donde los espesores litológicos y altitudes alcanzan su máximo desarrollo.

La erosión ha sido moderada en la litología ácida debido a su composición química y mineralógica pero se manifiesta claramente el intemperismo mecánico en los bordes de los cuerpos riolíticos e ignimbríticos, originando cantiles casi verticales que conforman una topografía característica.

La topografía pre-existente al emplazamiento de las rocas ácidas debió influir en la distribución de las mismas, como cuerpos ignimbríticos que se emplazaron en antiguos cauces de ríos o arroyos y que actualmente son formas positivas. La presencia de domos asimétricos nos indica una antigua topografía -- con pendiente intensa al oriente, y desarrollo de -- cuencas lacustres en esta porción, algunas de ellas de considerable magnitud como nos lo indica el desarrollo de notables espesores de sedimentos lacustres.

### 3.2.- GENERALIDADES.

Los estudios terrestres son realizados sobre líneas transversales de estudio o bien en forma irregular o sobre vehículos ligeros a lo largo de caminos y brechas. En terreno abierto y de topografía suave se pueden hacer estudios sobre líneas transversales.

Las características de los estudios terrestres de rayos gama en un programa de exploración ofrecen las siguientes ventajas y desventajas:

A) El área de terreno muestreado por análisis terrestre de rayos gama es mucho menor que el área - muestreada por un análisis aéreo. La reducida área cubierta por estudios terrestres hace el método inapropiado para la exploración primaria de grandes - áreas. Sin embargo, la resolución posible con un estudio terrestre de rayos gama es una clara ventaja - para explorar e investigar pequeñas o débiles fuentes radioactivas.

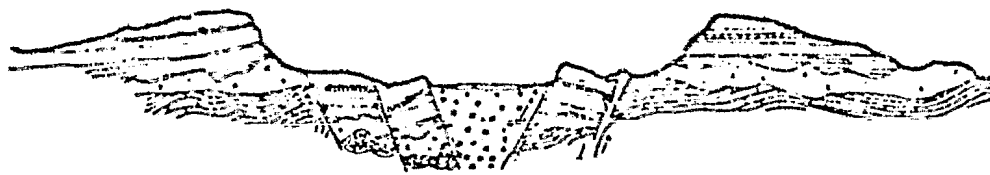
B) El plan operacional para un estudio terrestre de rayos gama puede ser variado durante el curso del trabajo a los cambios propios en el nivel de radioactividad, cambios en la distribución y clase de afloramientos, o para continuar fuentes de radioactividad localizados durante la exploración.

C) El equipo de estudios terrestres de rayos gama es de menor costo comparativamente y los operadores requieren sólo un pequeño adiestramiento del manejo de equipo.

D) La reducción, corrección y representación de resultados es simple y puede ser realizado y verificado en el campo.

E) En terrenos de topografía abrupta la información puede ser corregida usando un filtrado diferencial.

F) Pueden ser realizados y verificados en conjunto con otros estudios geofísicos, geológicos o geoquímicos.



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA MEXICO.

### 3.3.- APLICACIONES.

Dado que los estudios terrestres de rayos gama -- tienen la ventaja de gran resolución y la desventaja de un gran costo por unidad de área, el método es -- más efectivamente usado en:

a) Encontrar e investigar anomalías indicadas por estudios más regionales,

b) Proporciona información preeliminar de concentración de radioactividad y radioelementos de afloramientos y suelos vegetales en un área antes del diseño y ejecución de un estudio aéreo.

c) La exploración sistemática para afloramientos radioactivos o áreas radioactivas anormales en áreas adjuntas a anomalías o controladas a lo largo de alineamientos geológicos.

d) Proporciona una herramienta de exploración primaria donde los problemas de organización impiden el uso de exploración aérea.

e) Asiste durante las rutinas de prospección geológica examinando la concentración de radioactividad y radioelementos de especímenes de rocas y afloramientos.

f) Proporciona una guía de leyes minerales indicando la concentración de catas y zanjas de exploración.

### 3.4.- ASPECTOS REGIONALES.

#### 3.4.1.- VULCANISMO.

Las consideraciones tectónicas continentales sobre la génesis de esta gran provincia que es la Sierra Madre Occidental están fuera del alcance de este texto, sin embargo se esboza una concepción panorámica de los eventos que la originaron y es la siguiente:

La Provincia Geológica de la SMOc., es la manifestación de vulcanismo ácido más grande del mundo (Clabaug, 1979) y es el resultado de un magmatismo originado por la colisión de la paleoplaca "Farallón" y la placa de Norteamérica. Esto produjo una zona de subducción que empezó a desarrollarse en el jurásico superior (Cserna, 1960; King, 1969; Coney 1972). La naturaleza de la placa "Farallón" es aún motivo de discusión, en cambio la placa de Norteamérica es evidentemente continental. Hacia el sur se desarrolla una junta triple que implica el desarrollo del eje neovolcánico. Actualmente el marco tectónico es otro, en el cual se desarrolla un movimiento lateral de -- placas cuya principal manifestación es la falla de -- San Andrés, la cual se considera empezó a desarrollarse hace cinco millones de años.

Para el interés uranífero el enfoque del vulcanismo es identificar las estructuras locales que forman los derrames, (avalanchas, lavas, cenizas); su distribución horizontal y vertical, sus conductos y las relaciones con las manifestaciones aledañas (definición de estructuras mayores tipo caldera). Esto es con el objeto de interpretar y definir las zonas de mayor probabilidad para mineralizaciones, zonas de dispersión o acumulación, etc., con la exactitud que requiere la elaboración de un programa de perforación.

En la S. de C. es notable el alineamiento de los cuerpos más altos que se han interpretado como "domos" Toloides según Mc Donald, y que fueron originalmente los conductos por donde se extravasaron las ignimbritas y -- tobas que a su vez alcanzan sus mayores desarrollos

en la parte sur y oriente debido quizá, a que el paleodeclive es en esta dirección.

También en las porciones intermedias entre los domos se presentan facies ignimbríticas y tobáceas y de ello se tiene una excelente localidad en el puerto de Ocampo (Fig. 3.1) donde la ignimbrita se manifiesta con todas sus características interrumpiéndose abruptamente contra la estructura "Mesa Alta".

El alineamiento de los domos se ha interpretado como la manifestación de una zona de alta presión que desarrolló cámaras magmáticas pequeñas asociadas a una mayor representada actualmente por la depresión que ocupa actualmente la Laguna de "Santiaguillo". Sin embargo se sospecha que es posible que estos frentes de alta presión sean un tanto independientes y así cada cadena montañosa sea un fenómeno en la evolución tectónica cordillerana y, en este caso, debemos esperar multitud de estructuras de tamaño reducido (5-10 km de  $\varnothing$ ) que las que nos sugiere la Laguna de Santiaguillo, (40-60 km de  $\varnothing$ ). Es notable el paralelismo de algunos cuerpos intrusivos con la lineación de la sierra, como es el dique Perla ilustrado en la Fig. 3.2 que aflora hacia la base de la vertiente occidental y que está asociado al cuerpo que forma el C° Divisadero y que se interpreta como parte de la fase de vulcanismo resurgente en el ciclo establecido por P. Goodel, 1980.

La magnitud de los fenómenos volcánicos ácidos y su importancia uranífera hace necesario la preparación de especialistas en este ambiente geológico - pues en México la potencialidad económica de esta --

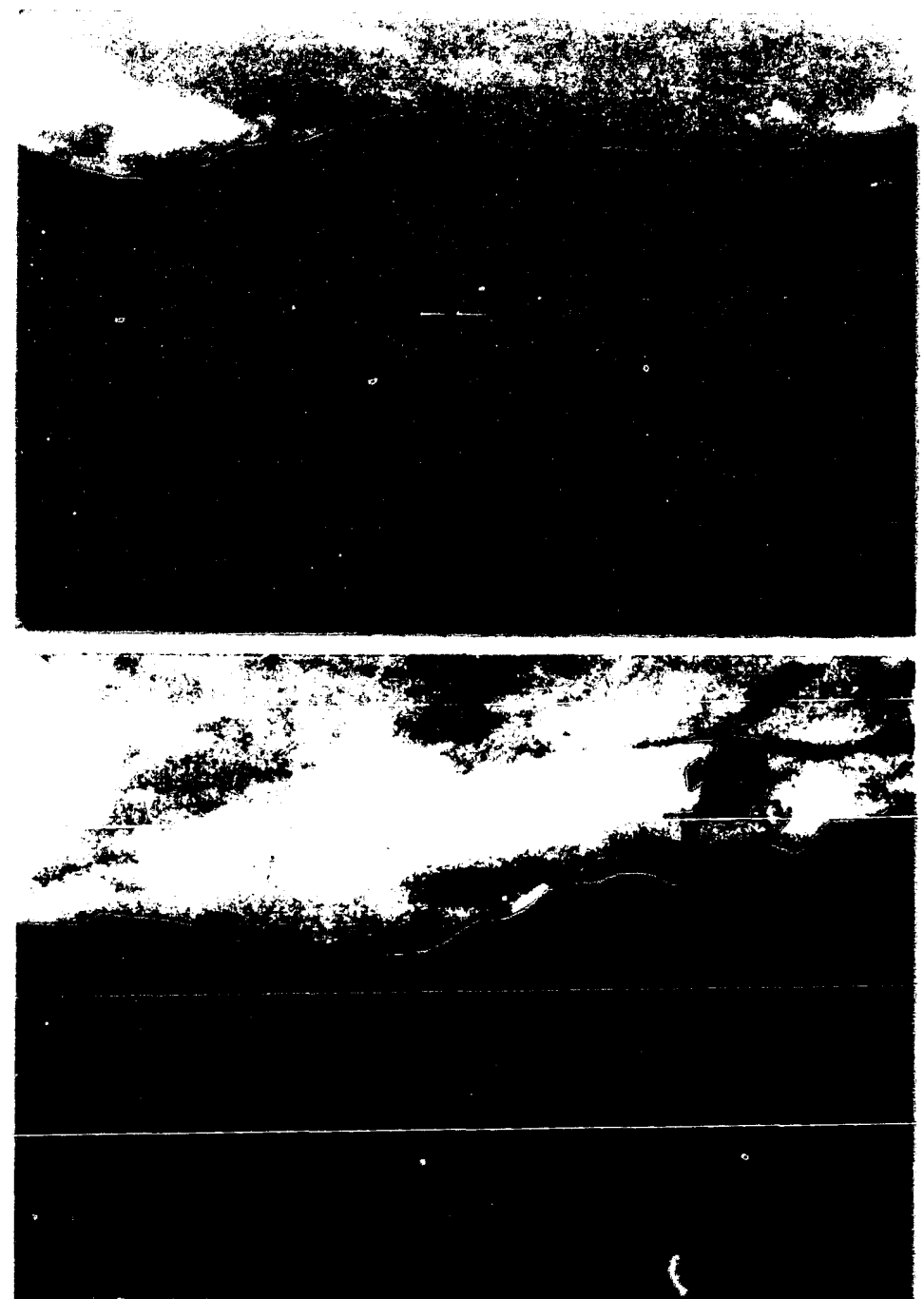
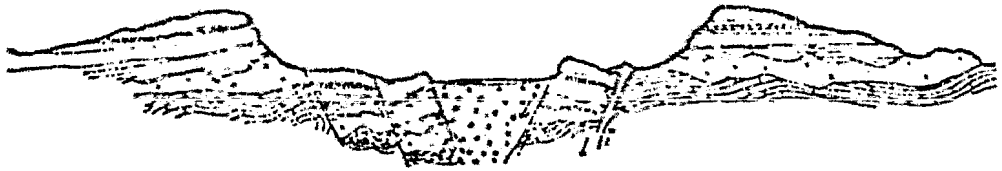


FIGURA 3.1.- PUERTO DE OCAMPO, SIERRA DE CONETO, DGO.





# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL ARRAA GERRO MONTOSA  
MEXICO.

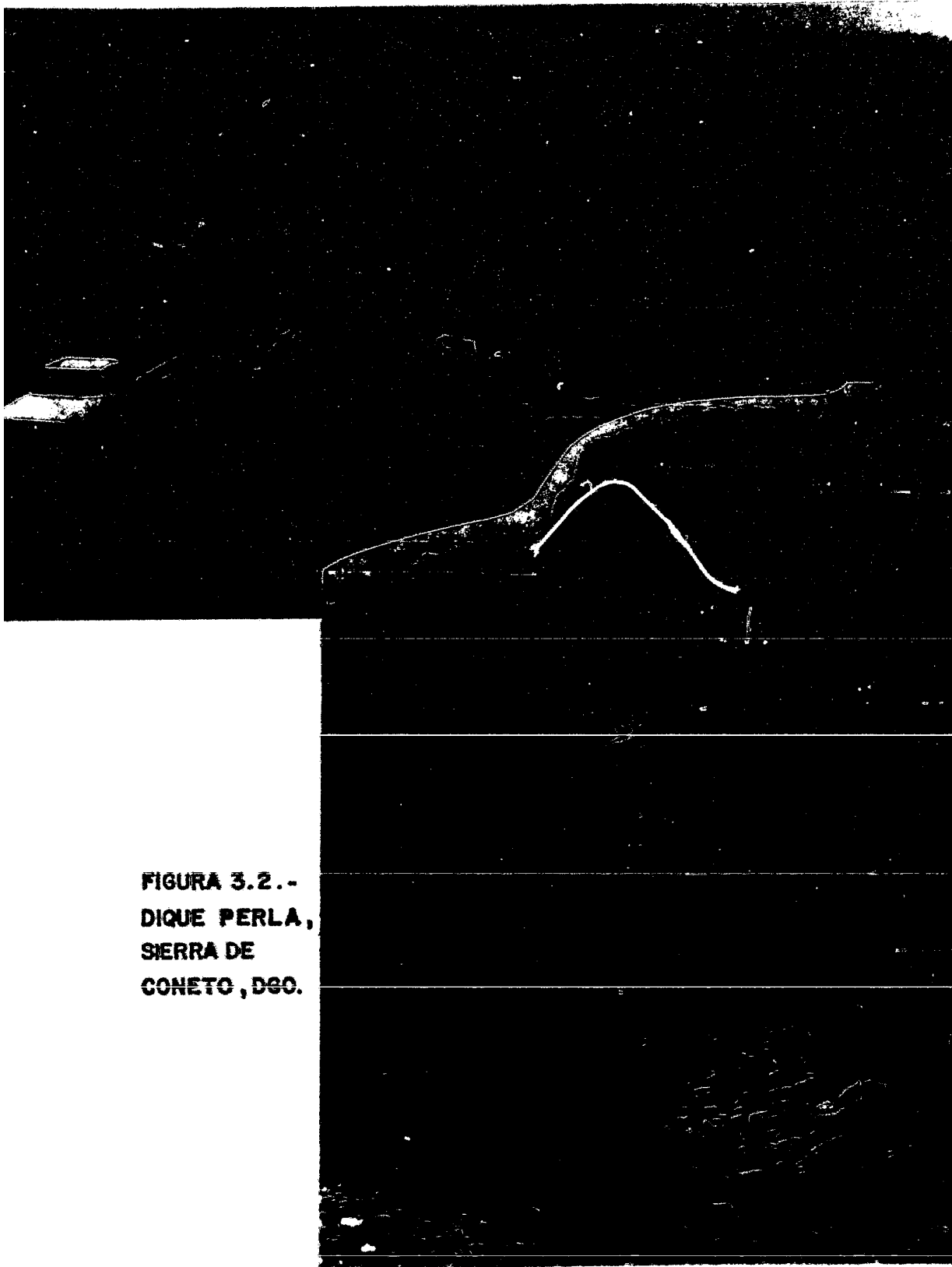


FIGURA 3.2.-  
DIQUE PERLA,  
SIERRA DE  
CONETO, DGO.

litología lo justifica ampliamente pues cuenta con - estructuras más numerosas y mayores que las definidas hasta la actualidad en Estados Unidos de América.

### 3.4.2.- LITOLOGIA REGIONAL

La Sierra de Coneto es un complejo volcánico que presenta una diversidad de rocas como tobas, aglomerados, brechas ignimbríticas, riolitas, rocas híbridas, andesitas, basaltos e incluso calizas.

Se ha llegado a diferenciar varias unidades y se pretendió correlacionar con las columnas establecidas originalmente en la Sierra del Mezquite, asignándoles los mismo nombres según su litología y posición estratigráfica. Posteriormente el trabajo de cartografía mostró variaciones que hizo necesario definir localmente nuevas unidades. En últimas fechas se ha determinado que no son correlacionables porque los - eventos volcánicos no desarrollan en general extensiones con continuidad horizontal y se originan a -- partir de diferentes conductos y en distinto tiempo.

### 3.4.3.- UNIDAD GOTERA.

Son las rocas ígneas más antiguas que se han observado en esta zona; están constituidas por una secuencia de carácter andesítico fácilmente diferenciable en el campo por su coloración generalmente gris oscuro. La forman tobas, derrames lávicos y algunos cuerpos intrusivos someros, de textura afanítica y de grano fino. Forma lomeríos en la base de las Sierras, algunos de ellos de considerable magnitud como el que se presenta en el poblado de Coneto de Comonfort. Contiene abundante mineralización de sulfuros (Ag. Pb. Zn.), oro, fluorita y manganeso. En ésta -

unidad no se han encontrado manifestaciones uraníferas excepto algunas asociadas a cantos rodados o pequeños intrusivos. La distribución de esta unidad es bastante generalizada; se ha observado en la Sierra del Mezquite y la Sierra Magdalena. Existen trabajos detallados del Consejo de Recursos Minerales - donde han diferenciado algunos miembros pero por interés uranífero no ha sido necesario hacerlo. Se ha interpretado a esta unidad como la primera fase de un evento volcánico cuyas mayores manifestaciones -- fueron el emplazamiento de la secuencia ácida que le suprayace.

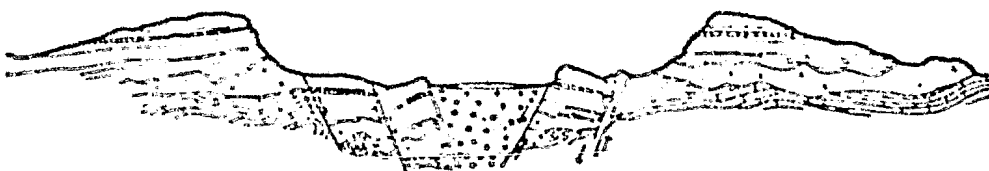
#### 3.4.4.- SECUENCIA ACIDA.

Este paquete que en la "S. de C." alcanza a desarrollar más de 600 metros de espesor está integrado por una asociación de tobas, ignimbritas y riolitas. La interpretación litoestratigráfica ha evolucionado sustancialmente y los criterios se han modificado en los conceptos de riolita, ignimbrita y toba, por lo que se hacen las siguientes consideraciones sobre -- los términos utilizados para diferenciarlos en el -- campo.

RIOLITAS.- Se ha considerado como tales a aquellas rocas de origen lávico, que se emplazaron en -- forma fluida a través de un conducto en la roca preexistente cuyo emplazamiento forma diques, cuellos, sills o mantos y domos (incluso lasolitos). Su principal característica es la fluidez cuyos planes se -- marcan por la presencia de hematita pulverulenta; esta fluidez es abundante en flexiones e imbricaduras originada por la alta viscosidad de este tipo de lava. Es frecuente encontrar fragmentos de roca que --

fácilmente nos puede confundir con una textura piroclástica pero es el resultado de contaminación de la lava con las paredes de los conductos o con fragmentos que fueron incluidos al momento de emplazarse. Otro aspecto bastante generalizado, aunque no exclusivo, es la presencia de abundantes esferulitas. Se considera pues, que el emplazamiento de los cuerpos riolíticos es un fenómeno más bien tranquilo en relación con las manifestaciones violentas del fenómeno que lo antecede y que a continuación nos referimos.

IGNIMBRITAS.- Se ha considerado con este nombre a las rocas emplazadas por un evento denominado avalancha ardiente. Este fenómeno característico, aunque no exclusivo del vulcanismo ácido, tiene su génesis en la liberación de la fase gaseosa del magma -- (hipomagma-piomagma), lo cual ocurre en forma violenta al ser liberado súbitamente al magma de la presión confinante por la apertura de una falla o fractura, esta explosión origina gran cantidad de pumicita y alcanza la superficie en forma violenta, llevando en suspensión enorme cantidad de material en estado incandescente que, por la turbulencia desarrollada no permite depositarse y migra pendiente abajo siguiendo los cauces existentes. Es de gran importancia remarcar que la profundidad en la que se realiza la liberación de la fase gaseosa en los magmas ácidos es menor que en los basálticos; en estos el fenómeno también ocurre pero a mayor profundidad por lo que -- su manifestación en superficie es menos violenta llegando a ser generalmente una lluvia de ceniza. Es -- importante también marcar que el material en el que se originan las cámaras magmáticas es diferente por lo que la cantidad de gases disueltos varía sustancialmente.



# ESPECTROMETRIA DEL UZANIO EN LA SIERRA DE GONETO, DGO., MEXICO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA MEXICO.

Una vez que la explosión originada en los magmas ácidos por la liberación de la fase gaseosa, alcanza la superficie, se inicia la avalancha pendiente abajo, perdiendo gradualmente energía y depositando su carga.

El resultado es una roca con texturas diferentes; en sus partes superior e inferior predomina la textura piroclástica o hialínica según su temperatura y rapidez de enfriamiento que en los bordes será mayor. Hacia el centro desarrollará textura eutaxítica originada por el soldamiento, compresión y lento enfriamiento de sus elementos. Una característica notable es la ausencia de estratificación en las texturas piroclásticas, debido al emplazamiento de una sola vez de todo el paquete. Una toba común que se forma a partir de una lluvia de ceniza necesariamente desarrolla estratificación. Algunas veces dentro de las ignimbritas se desarrolla una pseudoestratificación pero es el resultado de avalanchas sucesivas o espasmos dentro de un mismo fenómeno. Así pues, las ignimbritas desarrollarán cuerpos más o menos tabulares en posición horizontal que rellenan valles con algunas variaciones accidentales como puede ser el relleno de un cauce profundo.

Es factible que existan reactivaciones que modifiquen la secuencia y así las extravasaciones riolíticas que forman domos al taponar los conductos propician el desarrollo de altas presiones que al ser liberadas producen avalanchas ardientes.

Un factor también muy importante es el ángulo con que son eyectadas con respecto a la horizontal, pues,

mientras más pequeño es éste, la energía inicial de la avalancha será mayor.

Originalmente se ha utilizado y difundido mucho el término "nube ardiente" pero se considera que la "nube" es sólo la parte más visible del fenómeno -- realmente importante que es la avalancha de material incandescente. No obstante la nube sola es capaz de producir grandes estragos como sucedió en Saint Pierre al desarrollar una avalancha en Mont Pelée y que únicamente el penacho de gases alcanzó la ciudad a velocidad de 160 Km/h., ocasionando cerca de 30,000 muertes. (Mc. Donald 1962, Lacroix 1904).

En los tiempos históricos son contados los fenómenos volcánicos de naturaleza ácida; se tiene, además del Mont Pelée, La Soufriere y el Valle de las 10,000 fumarolas en Alaska.

### 3.5.- GEOLOGIA DEL AREA.

En cuanto a estratigrafía, se definieron 6 unidades litoestratigráficas de edad terciaria, la más antigua denominada Formación Gotera, que es de composición intermedia; le sobreyace una potente secuencia de piroclásticos estratificados e ignimbritas afectadas por cuerpos subvolcánicos; estas unidades se han denominado Formación Ocampo, Alumbre, Salto, Yerba-buena y Trincheras; excepto de las Formaciones Gotera y Trincheras, el resto tiene una disposición tabular y concordante con ligeras inclinaciones al este y sureste con intensidades entre 5° y 12° (Ver.Fig.3.3), en general la secuencia está afectada por dos sistemas de fallas normales y fracturas, uno con dirección NW-SE y otro aproximadamente perpendicular y de menor impor-

tancia (Ver plano 3.3) ambos con echados entre 70° y 90°, el primero buzando preferentemente al W. A una escala más regional, la Sierra de Coneto, es el complemento de la estructura vulcano-tectónica Santiaguillo, cuyo reflejo es la Cuenca de La Laguna, complementando la estructura La Sierra de Magdalena -- (Ver Fig. 3.4).

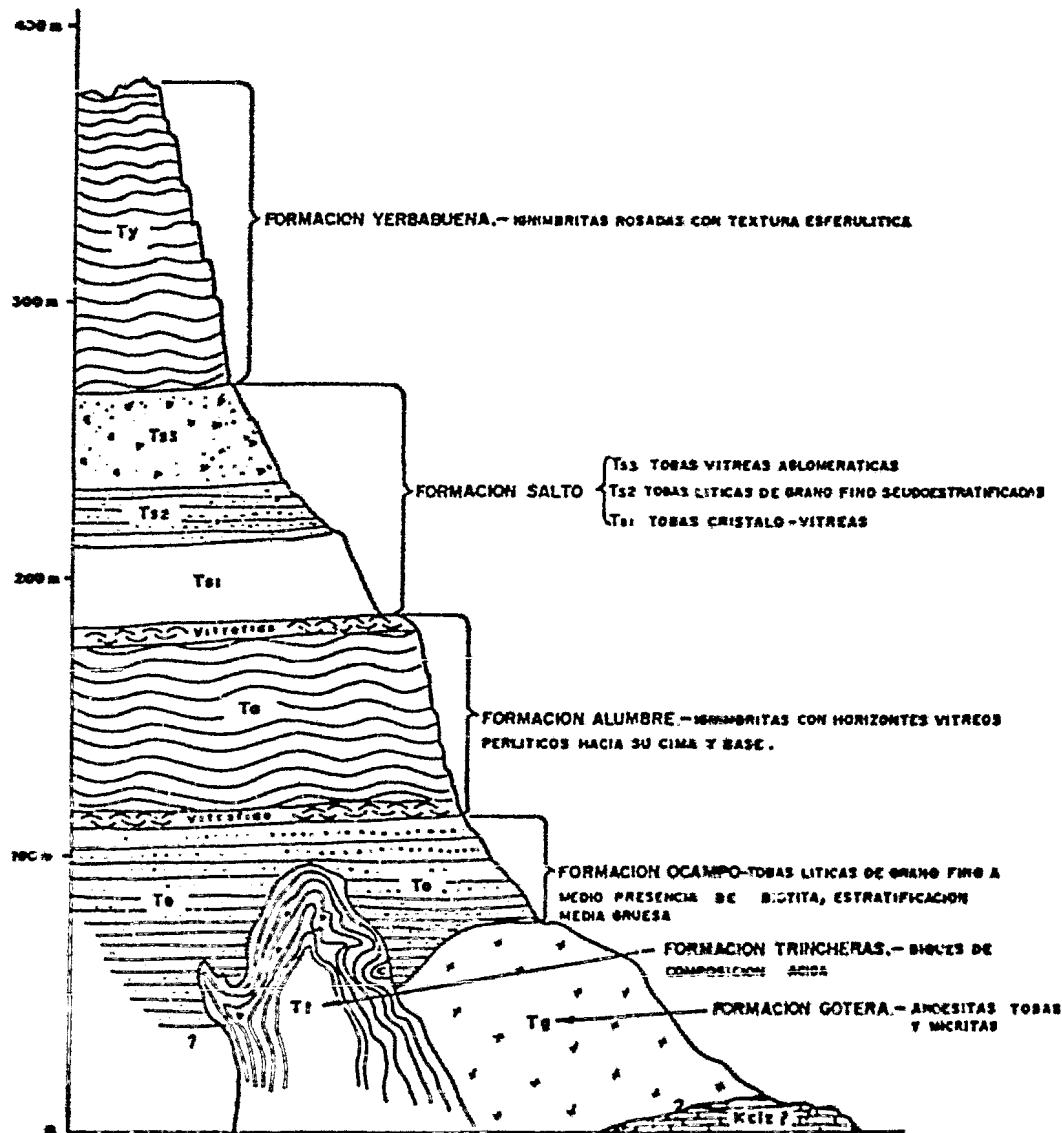
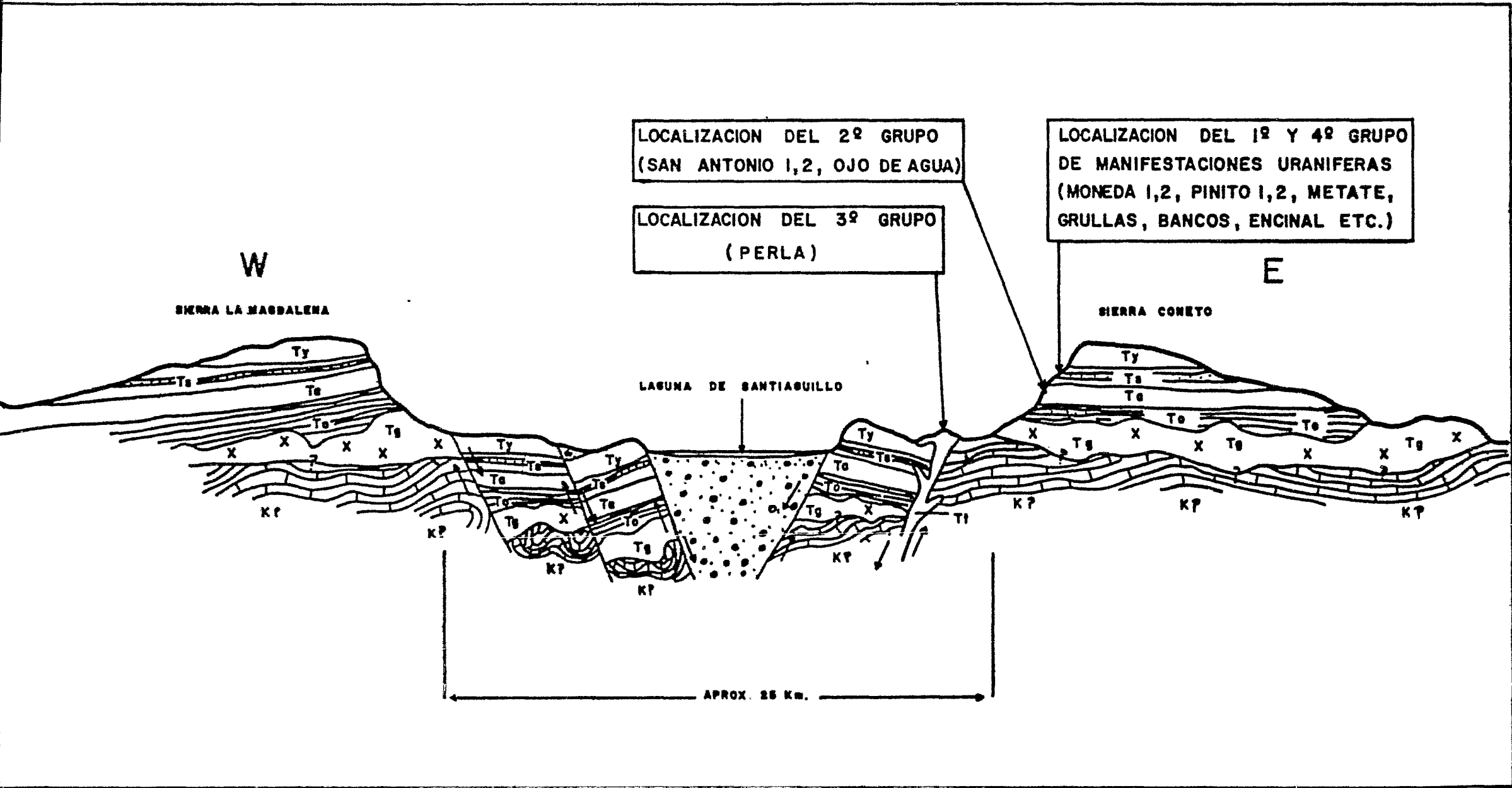


FIG. 3.3.- SIERRA DE CONETO COLUMNA ESTRATIGRAFICA

### 3.5.1.- MANIFESTACIONES URANIFERAS.

Las manifestaciones detectadas son muy variadas. así, encontramos vetillas de mineral relleno de fracturas como en San Antonio 1 y San Antonio 2, asociado a material carbonoso (Mariposa), en forma diseminada (Tigre 2) y gran número de manifestaciones radiométricas sin mineral a la vista (Sotol, Picachi--



LOCALIZACION DEL 2º GRUPO  
(SAN ANTONIO 1,2, OJO DE AGUA)

LOCALIZACION DEL 3º GRUPO  
(PERLA)

LOCALIZACION DEL 1º Y 4º GRUPO  
DE MANIFESTACIONES URANIFERAS  
(MONEDA 1,2, PINITO 1,2, METATE,  
GRULLAS, BANCOS, ENCINAL ETC.)

W

SIERRA LA MADALENA

LAGUNA DE SANTIAGUILLO

E

SIERRA CONETO

APROX. 25 Km.

FIG.3.4.-SECCION IDEALIZADA DE ESTRUCTURA VOLCANO - TECTONICA "SANTIAGUILLO"

tos, etc.) y altos radiométricos asociados a cuarzo hidrotermal (Manzanilla). Como se ve, las manifestaciones son múltiples y por lo tanto las consideraciones genéticas, enigmáticas, ya que tenemos uranio -- claramente lixiviado (Anom. Mariposa) hasta uranio -- asociado a Fluorita que nos sugiere actividad hidrotermal (Perla, Torrecitas).

Aquí se vislumbran alternativas, principalmente tres y son:

1.- El uranio es sintéctico y viene contenido en las rocas eyectadas cualquiera que sea el mecanismo (lluvia de ceniza, avalancha ardiente o derrame lávico).

2.- El magmatismo que originó las rocas volcánicas también dió lugar a procesos mineralizantes que impregnaron las rocas adyacentes, ya sea pre-volcanismo o las mismas rocas eyectadas.

3.- La última alternativa es que el hidrotermalismo sea muy posterior y por lo tanto, ajeno al fenómeno volcánico que emplazó la secuencia ácida.

Para esbozar un panorama general se hacen las siguientes consideraciones:

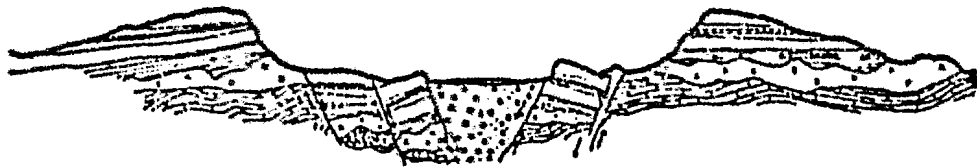
A) Es evidente la ausencia de alteraciones hidrotermales típicas; sólo se detectan algunas vetillas de manganeso y fluorita que se han considerado poco significativas para la magnitud de los fenómenos involucrados.

B) La elevada radiometría de fondo de algunas riolitas e ignimbritas sugiere que pueden funcionar como fuente de uranio, que posteriormente se ha lixiviado y se ha alojado en fracturas o litología con porosidad y permeabilidad.

C) El desarrollo de facies hidrotermales asociados al magmatismo ácido si se dió en las primeras -- etapas, debió mineralizar rocas pre-existentes (mineralizaciones de Coneto de Comonfort). Si fue en las últimas etapas el evento mineralizante significativo debe darse en porciones cercanas a la cámara magmática o eventos finales como domos resurgentes y emplazados en zonas de debilidad estrechamente asociados a los conductos por donde se emplazaron las rocas volcánicas.

Desde un panorama más amplio las zonas favorables para el emplazamiento de yacimientos uraníferos en este ambiente geológico, se pueden agrupar por sus características en cuatro grupos: el primero de ellos se distingue por su control estratigráfico, con mineral secundario diseminado en el miembro intermedio de la Formación Salto (Ts), presentan alta y baja radioactividad y ocurren alrededor del Cerro La Montosa. Otro grupo importante lo tenemos en la Cima de la Formación Alumbre, con un control un tanto errático, dado por el contacto y por cuerpos brechoides, generalmente -- presenta alta radioactividad, minerales secundarios, principalmente Uranofano, llenando intersticios de brecha y asociado a fuerte hematización y silificación. Un tercer grupo lo constituyen las anomalías que ocurren en los cuerpos subvolcánicos, la más significativa de ellas, presenta torbernita y fluorita a través de fracturas orientadas al NW-SE.

El cuarto grupo se caracteriza por su control tabular, baja radioactividad, con poco espesor pero extensas y su distribución está restringida a las paredes donde la Formación Salto se encuentra indiferenciada y con grandes espesores, (Fig. 3.4).



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO. MONTOSA  
RECORRIDO.

De acuerdo con lo expuesto, podemos decir que la mayor parte de la mineralización observada, se localiza en las facies extra-caldera de una estructura vulcano-tectónica, que se expresa por las Sierras de Magdalena y Coneto y la amplia depresión entre ellas que es la Cuenca de la Laguna de Santiaguillo, donde se supone están sepultadas las facies intracaldera.

## 3.6.- TRABAJO ESPECTROMETRICO DE CAMPO.

### 3.6.1.- MEDICION DEL FONDO.

La radiación medida en la exploración de rayos gamma terrestre es derivada de una variedad de fuentes geológicas y no geológicas. La radiación la cual no es producida de la tierra es llamada "fondo".

La intensidad de la radiación de fondo varía con la altitud, localización geográfica, y especialmente condiciones meteorológicas al nivel del mar, bajo condiciones estables de impurezas, el fondo medido por un cintilómetro es del rango 2 a 5 Ur. En condiciones de operación similar el fondo medido por un espectrómetro diferencial con ventanas seleccionadas de acuerdo a la tabla 2.7 es equivalente a 0.5% de potasio, 1 a 3 ppm de uranio equivalente y 1.5 ppm de torio equivalente en las ventanas respectivas.

Por esta razón, con objeto de maximizar la sensibilidad de la información de exploración, el fondo (background) deberá ser restado de todos los datos obtenidos en el campo.

### 3.6.2.- DIMENSIONES Y LOCALIZACION DE FUENTES.

Los resultados de exploración terrestre de rayos gamma es expresada o interpretada en unidades de concentración aparente de radioelementos o en cps. Sin

embargo, el concepto concentración aparente de radioelementos implica que las fuentes radioactivas son grandes y homogéneas. En muchas exploraciones terrestres las fuentes de interés comúnmente son pequeñas o localizadas lejos del detector y en estos casos la respuesta del detector puede no indicar la concentración verdadera de radioelementos de las fuentes buscadas, Fig. 3.5.

En los estudios terrestres, el área muestreada por un detector es completamente pequeña y fuentes radioactivas de intensidad fuerte localizadas lejos del recorrido, pueden no ser detectadas como anomalías radiométricas importantes. Por ejemplo, si una fuente de 5 metros de diámetro conteniendo 3000 ppm de uranio equivalente es localizada 10 metros alejada de un espectrómetro manual en un recorrido hecho a través de metasedimentos, la respuesta del espectrómetro indicará un incremento menor de cinco veces en la concentración aparente de uranio. Sin embargo, si el recorrido es hecho otra vez con el espectrómetro a dos metros de altura, la respuesta será arriba de ocho veces el incremento de la concentración aparente de uranio. Después el recorrido fue hecho a solo 5 metros de la fuente obteniendo un incremento mayor de 30 veces en la concentración aparente de uranio.

Los siguientes puntos tienen implicación importante para el cálculo e interpretación de los estudios terrestres de rayos gamma:

a) Para investigar un área de estudio concienzudamente por un método terrestre de rayos gamma puede ser necesario usar una retícula muy cerrada con espa

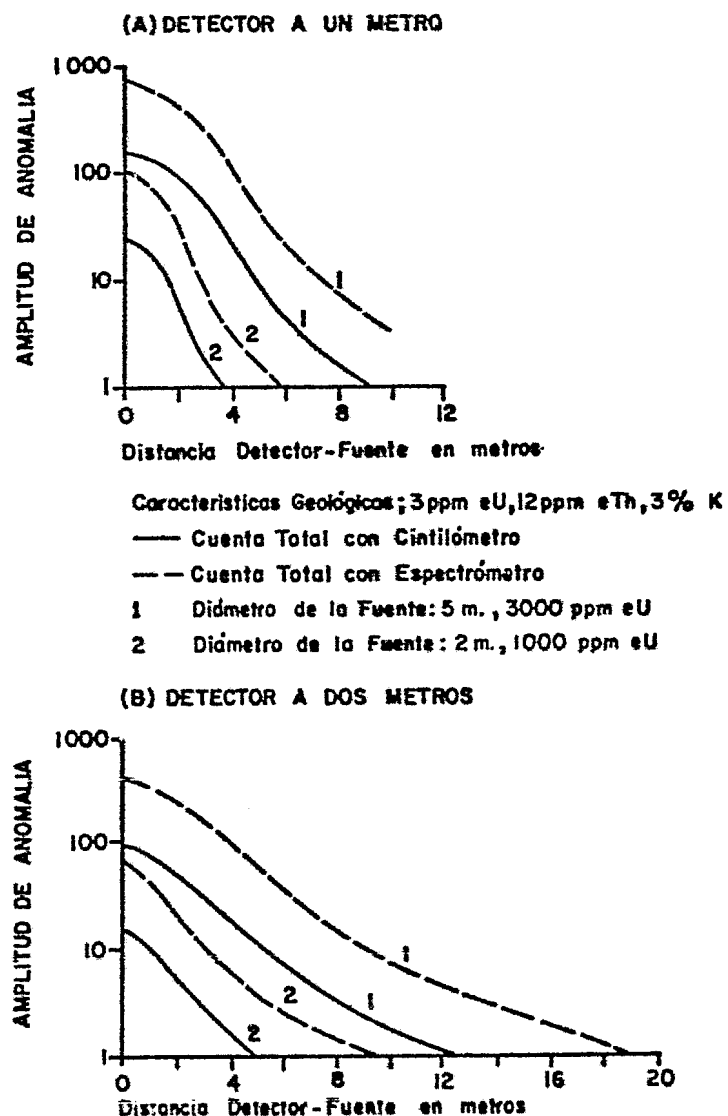


FIGURA 3.5 - EFECTO DEL TAMAÑO DE LA FUENTE Y LOCALIZACIÓN EN LA RESPUESTA DE UN INSTRUMENTO TERRESTRE DE RAYOS GAMA.

ciamiento de 5 a 10 metros, algunas veces se requiere mayor detalle;

b) El área de investigación de un estudio de rayos gama es aumentado si el detector es colocado tan alto como sea posible arriba del terreno;

c) Los estudios espectrométricos son potencialmente más sensitivos al uranio que los estudios de cuenta total únicamente;

d) Pequeñas anomalías radiométricas pueden aparecer de fuertes fuentes radiactivas las cuales están a unos cuantos metros alejadas del detector;

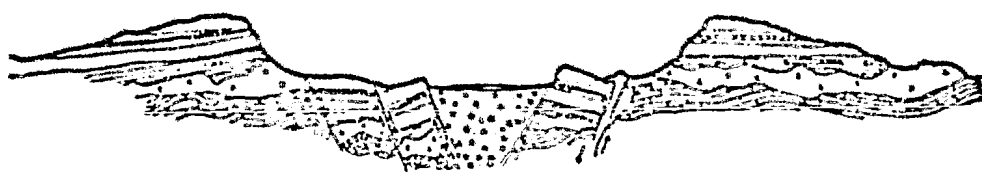
e) En muchos estudios terrestres, el contenido de radioelementos del terreno puede variar considerablemente sobre pequeñas distancias debido a cambios litológicos y de la capa de suelo. Por esto las anomalías pueden necesitar ser varias veces mayor que el fondo geológico radiométrico para que sean consideradas de importancia. Las anomalías que son de 2 a 3 veces el fondo geológico podrán ser consideradas de importancia en la mayoría de los estudios;

f) Un detector en movimiento responderá a fuentes pequeñas o alejadas sólo un tiempo pequeño o sea mientras se pasa por el lugar;

g) En estudios de cuenta total la concentración de radioelementos que no sean uranio presiona a ser más difícil en la exploración para detectar los cambios de concentración de uranio;

h) El material de la cubierta de los caminos es tomado del banco de material más próximo, el cual puede ser de una cantera o de terreros de minas, con teniendo material que nos representativo de las rocas a los lados del camino; en recorridos autotransportados sobre caminos recubiertos deberá siempre --





# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL ARRAZOL MEXICANO.

EN EL ARRAZOL MEXICANO

ser chequeada la posible causa de una respuesta radioactiva uniforme; de ser posible se debe recorrer los caminos con el mínimo de material extraño o aún mejor realizar los recorridos a campo traviesa donde sea posible.

### 3.6.3.- ESTUDIOS SISTEMATICOS.

Los estudios efectuados mediante un recorrido sistemático son generalmente los mejores modelos de muestreo donde un estudio terrestre es el principal medio para localizar mineralización de uranio. En recorridos sistemáticos la variación de la intensidad de rayos gama (o concentración de radioelementos) en el área de estudio es enteramente investigada con la información obtenida en puntos localizados en los vértices de una retícula trazada anteriormente a la toma de datos. Las líneas de la retícula serán perpendiculares entre sí, pueden ser paralelas, en un sentido, a la litología observada o bien a zonas de alteración o fracturamientos que controlen la mineralización de radioelementos, puede ser necesario detallar algunas zonas de interés dentro del área de estudio, para lo cual se ubicarán puntos de lectura fuera de los vértices del estacado dándoles numeración progresiva y ubicándolos perfectamente en un plano geológico o topográfico. Estos puntos serán previamente ubicados con un "barriete" efectuado con centímetros. Las líneas pueden ser "picadas" sobre fotografías aéreas o ubicadas en planos topográficos de buena calidad. Si el resultado de una exploración empleando recorridos sistemáticos requiere ser interpretado con buen detalle, es necesario asegurar que la localización de los puntos de medida es-

tán bien controlados en planos geológicos y/o topográficos del área de estudio.

El espaciamiento de los recorridos y de las estaciones requerido para un estudio sistemático depende de las características del instrumento, altura del detector, geología del área, y de las dimensiones del cuerpo mineralizado. Como una guía para el espaciamiento de líneas y de estaciones requeridas para una mineralización pobremente expuesta de uranio, una distancia de 5 a 10 metros entre líneas y estaciones es buena opción para terrenos cubiertos. Es necesario extender las líneas más allá del área de interés hasta que la intensidad radiométrica sea comparable a la de las rocas circundantes.

Las lecturas en cada estación se efectúan tres veces para obtener un promedio estadístico y se anotan en formas apropiadas para tal efecto, Fig. 3.6. Si hay variación de lecturas de  $\pm 15\%$  se repetirán hasta obtener 3 lecturas estables, en el caso que no sea posible obtener lecturas estables, se moverá unas cuantas decenas de centímetros el detector, las estaciones serán de ser posible, en roca firme o suelo compacto, se evitará tomar lecturas en "rodados" y suelo vegetal poco compacto. Entre estaciones debe observarse lecturas constantemente para detectar cambios sustanciales de intensidad de rayos gama.

Para recorridos autotransportados, los detectores apropiados permiten un registro continuo de la intensidad de rayos gama si el vehículo se mueve despacio. Cuando se detecta una intensidad alta, se detiene el vehículo y se verifica rápidamente sobre el terreno.

**UNAM** FACULTAD DE INGENIERIA  
TESIS PROFESIONAL

DATOS DE CAMPO					ESPECTROMETRO <u>SRS-410</u>			
ANOMALIA: <u>Pnitol-Metate</u>		FECHA DE REGISTRO: <u>1-IV-83</u>		HOJA <u>1</u> DE <u>25</u>				
LOCALIDAD: <u>Sierra de Coneto</u>		OPERADOR: <u>Juan E. E.</u>		FECHA DE CALCULO:				
MPIO. Y EDO.: <u>Canatlán, Dgo.</u>		TIEMPO DE CONTEO: <u>10 seg.</u>		INTERPRETO:				
ESTACION	C.T.	K	BI	TL	K/BI	K/TL	BI/TL	OBSERVACIONES
	3520	1606	908	105				Inicia levantamiento
	3505	1595	935	95				Afloramiento Tsz
1-A	3485	1580	971	90				
Σ								
PROM.								
	3201	1505	787	91				
	3180	1496	780	88				
2-A	3164	1491	765	85				
Σ								
PROM.								
	7542	2161	1100	120				Fractura en Tsz,
	7680	2221	1080	140				Puntual sin mineral
3-A	7930	2340	1190	136				
Σ								
PROM.								
4-A								
Σ								
PROM.								
5-A								
Σ								
PROM.								
6-A								
Σ								
PROM.								
7-A								
Σ								
PROM.								
8-A								
Σ								
PROM.								

En recorridos sistemáticos autotransportados, es importante detenerse el tiempo necesario para tomar -- lecturas en cada estación.

**3.6.4.- ESTUDIOS DE RECORRIDO VARIABLE.**

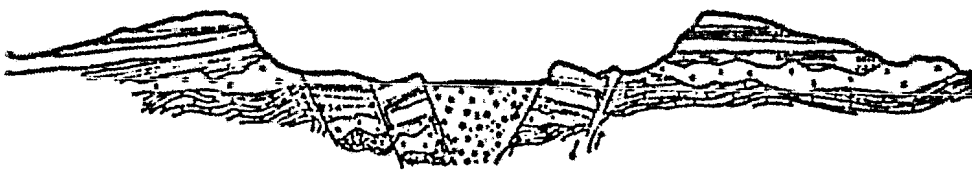
En recorridos variables la fluctuación de la intensidad de rayos gama en el área de estudio, es investigada por mediciones efectuadas a lo largo de recorridos determinados por la distribución de caminos, veredas y zonas que se puedan recorrer caminando o bien de acuerdo a los afloramientos y litologías favorables. Con este tipo de estudios el detector se lleva en constante movimiento con lecturas continuas efectuando estaciones en afloramientos o zonas de interés indicadas por la radioactividad alta detectada. Es conveniente aclarar que los recorridos variables no aseguran el estudio satisfactorio de una cierta -- área.

Los estudios de recorridos variables son comunmente empleados en conjunto con el mapeo geológico, ya que no es este método la herramienta principal de exploración. Sin embargo los estudios de recorrido -- variable son útiles para seleccionar áreas que requieran mayor estudio. Igualmente para estudios autotransportados, además ofrecen la ventaja de tener bajo costo para hacer reconocimientos preliminares de la distribución de radioelementos en la exploración de áreas nuevas potencialmente favorables.

**3.6.5.- MEDICION DE PUNTOS.**

En algunas etapas de un programa de exploración, las mediciones de intensidad de rayos gama serán requeridas para la investigación detallada de la concentración de radioelementos de afloramientos seleccio-

FIGURA 3.6 .- HOJA DE DATOS DE CAMPO.



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA MEXICO.

nados, muestras de rocas, y núcleos de perforación. Los estudios de este tipo pueden ser hechos durante las etapas de reconocimiento o después en un área - considerada como "anomalía". Generalmente esta información se obtiene con equipos portátiles.

### 3.6.6.- ANOTACION DE DATOS.

Es esencial que los datos de todos los estudios terrestres de rayos gama sean apropiadamente anotados. Dependiendo de los instrumentos usados y de los objetivos del estudio (regional, semidetalle, - detalle), los datos resultantes deberán ser anotados en libretas, formas apropiadas (Fig. 3.6), o en ocasiones en cinta magnética. La localización de todas las medidas efectuadas deberán anotarse para poder ser localizadas posteriormente en ocasiones, - se harán anotaciones cualitativas y cuantitativas de los lugares o puntos observados para tenerlo presente en la etapa de interpretación y/o cuantificación. Las principales características son:

- a) instrumentos empleados y sus sensibilidades,
- b) el área de estudio,
- c) forma del estudio, ya sea con equipo montado en vehículo o pedestre, recorridos sistemáticos o variables o únicamente en puntos seleccionados, detector móvil o haciendo estación, tiempo de conteo y número de lecturas por estación,
- d) localización de lecturas (mediciones): Sobre un plano o bien sobre fotografías aéreas se hará la localización de todos los recorridos, estaciones y puntos medidos que serán presentados con los resultados del estudio. De ser posible este plano tendrá - la información necesaria de la geografía, geología y

topografía del área de estudio.

e) fondo de la geología observada.

f) información geológica y geográfica: Esto será de vital importancia en la interpretación de resultados, todas las características geológicas y geográficas deberán ser anotadas, por ejemplo; los diferentes tipos de alteración de las rocas en el área de estudio, fallas, sistemas de fracturamiento, cambios litológicos, mineralización asociada de cualquier tipo y toda la demás información geológica y geofísica que se considere necesaria.

### 3.7.- PRESENTACION DE RESULTADOS.

La compilación de resultados de todo estudio es un paso importante para llegar a la interpretación; cualquier estudio, por simple que éste sea, debe presentarse de tal forma en la cual se muestren objetivamente todos los resultados obtenidos. En este tipo de estudios una forma común de presentación son los planos de isorradas, secciones y, en algunos casos, análisis estadísticos.

#### 3.7.1.- PLANOS DE ISORRADAS.

Los planos de isorradas tienden a enfatizar la extensión de las características de distribución de radioelementos y se supone que está implícita la continuidad de su distribución entre los puntos donde se toma la información. De aquí que este tipo de presentación deberá ser empleado si se tienen suficientes datos para efectuar un interpolación razonable entre los puntos donde se tomó información y si los objetivos del estudio pretenden ver con mayor claridad la distribución de radioelementos.

Los datos obtenidos con cualquier equipo es posible configurarlos manualmente si no se cuenta con equipo de procesamiento automático.

La configuración manual se realiza mejor si se considera la información complementaria (litología, estructura, etc) ya que estamos manejando datos de un campo aleatorio, o sea que no tiene gradiente, por lo tanto la intensidad no es proporcional a la distancia en la mayoría de los casos. La configuración se realizará de acuerdo con la forma y la concentración de radicelementos de la fuente.

De ser posible, los planos de isorradadas se deben realizar a la misma escala de los topográficos y geológicos.

En cada una de las anomalías (plano 3.3) se efectuaron los planos de isorradadas en los canales de cuenta total, bismuto 214, talio 208, y de la relación bismuto 214/talio 208.

Se presentan los planos correspondientes de la Anomalia Pinito I-Metate, planos 3.5 a 3.9. Los intervalos de configuración son variables, debido a que se obtuvieron valores altos y bajos en estaciones de lectura relativamente cercano y es difícil dibujar el total de isorradadas si se tomaran intervalos constantes; a pesar de esto las zonas de mayor intensidad se hacen notorias.

### 3.7.2- SECCIONES.

El graficado de los resultados en secciones es también una de las presentaciones que se pueden efectuar;

para esto se debe tener los datos continuos o regularmente espaciados sobre la línea de sección. A través de las secciones es posible obtener la concentración de radicelementos en unidades de roca de terminando la distribución de éstos con respecto a la distancia y su relación con las características geológicas y topográficas. Se presentan tres secciones de la Anomalia Pinito I-Metate, planos 3.10 a 3.12, en los canales de cuenta total, Bismuto 214, Talio 208 y la relación Bismuto 214/Talio 208, así como la interpretación geológico-geofísica correspondiente, apoyada con registros de rayos gama de barrenos efectuados. En el eje de las abscisas se presentan las distancias en metros y en el de las ordenadas la intensidad radiométrica en cplGs.

En este trabajo se presentan 6 secciones de la misma anomalía, planos 3.13 y 3.14, con un enfoque diferente; el objetivo es obtener a través de los datos de los registros de rayos gama, una configuración radiométrica con la cual sea posible determinar los cuerpos mineralizados en el subsuelo.

Cuatro de las secciones son Este-Oeste (Plano 3.13) y dos Norte-Sur (Plano 3.14).



INSTITUTO MEXICANO DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA

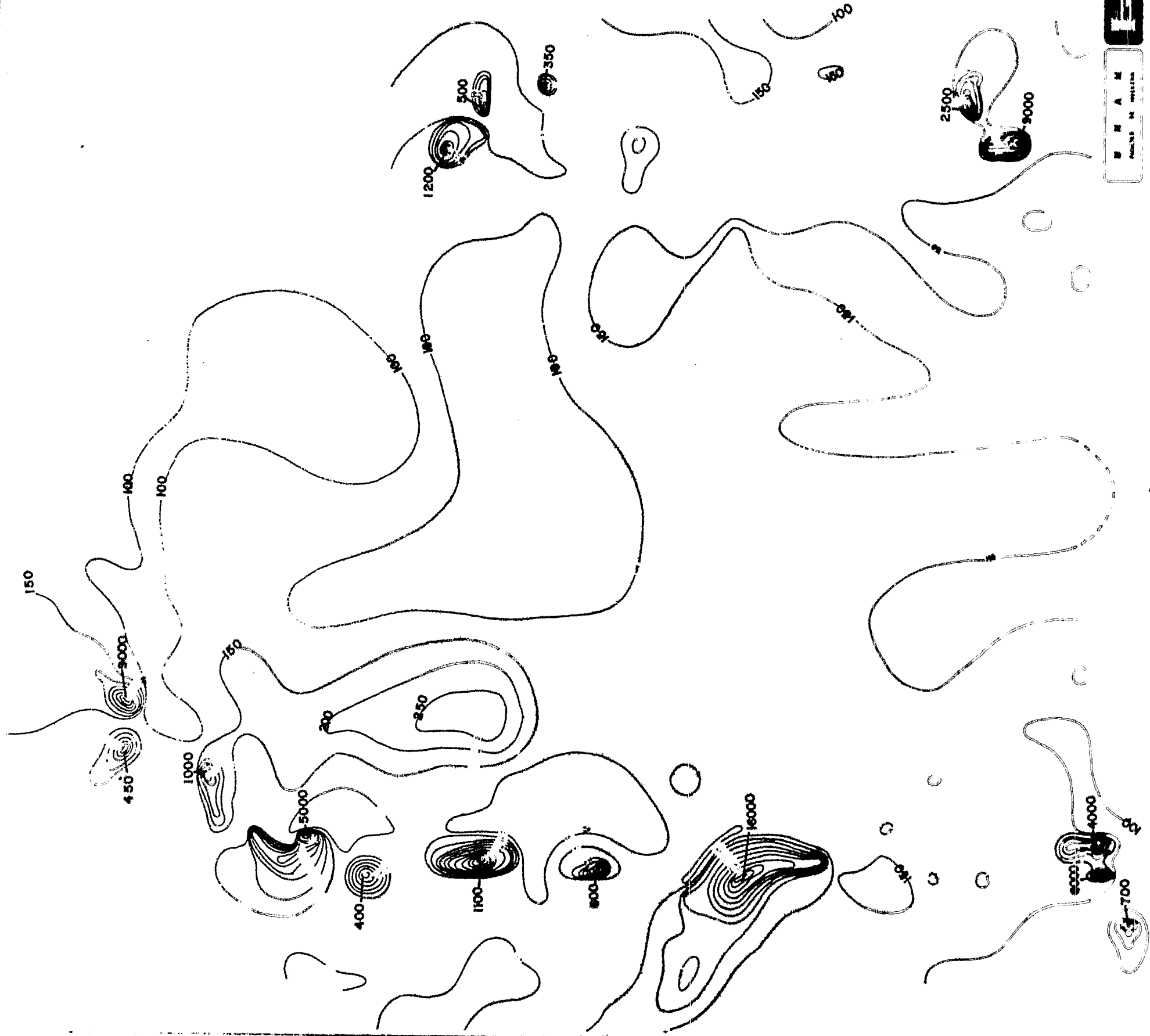
ESPECTRÓMETRO DE ONDAS DE RADIO  
 CON CALIBRACIÓN EN METROS  
 COMERCIAL DE CALIBRACIÓN



3.5  
 19 000 19 000 19 000

**SIMBOLOGIA**

- Estación Espectrométrica
- ~ Interreda e Intervalo Variable, CP 10.3.



  
 U S A M  
 UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY  
 WASHINGTON, D. C. 20540

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY  
 WASHINGTON, D. C. 20540

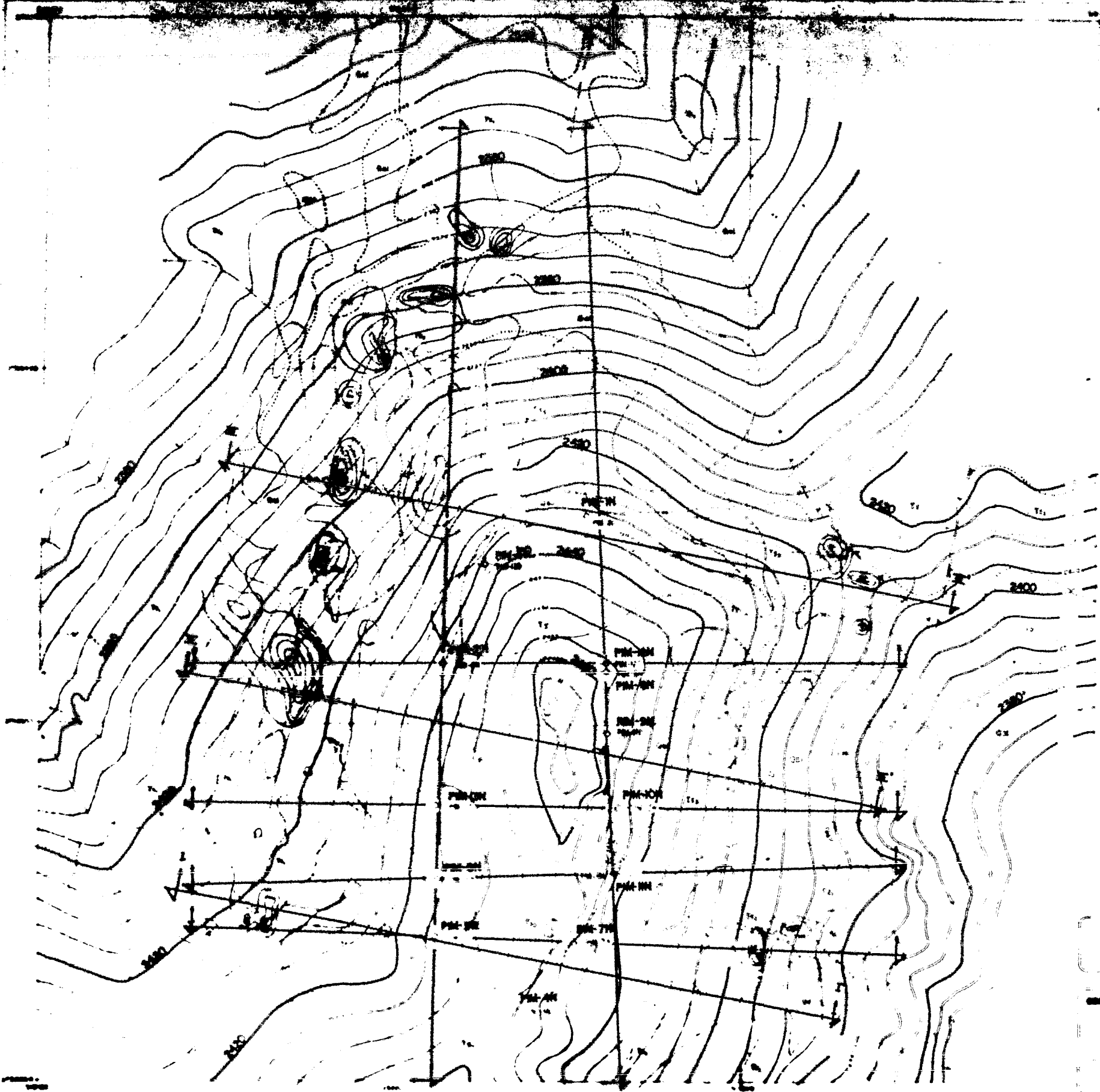
U S G S  
 3.6








- 1. LÍNEAS DE NIVEL DE 100 METROS
- 2. PERFORACION PERMANENTE (INDICADA EN EL PLAN)
- 3. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 4. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 5. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 6. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 7. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 8. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 9. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 10. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 11. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 12. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 13. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 14. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 15. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 16. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 17. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 18. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 19. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL
- 20. LÍNEAS DE PERFORACION TEMPORAL



**U N A M**  
FACULTAD DE INGENIERIA



**GEOLÓGICA, BARIOMETRIA Y PROGRAMA DE PERFORACION  
ANOMALIA PRIOI-METATE  
SIERRA DE CERRITO, A.P.D.C. DE COMONFORT, O.S.C.**

MARTÍNEZ SANCHEZ JOSÉ ANTONIO  
PÉREZ PARRALES ROBERTO

#### 4.- INTERPRETACION .

En el análisis final la calidad de la interpretación de un estudio depende de la calidad de los datos obtenidos, del conocimiento y minuciosidad del intérprete, del conocimiento tanto del área de estudio como de la información complementaria, que en este caso son: los tipos de mineralización, asociaciones mineralógicas, litología, rasgos estructurales, alteración, etc. Cuando tenemos gran cantidad de datos, como es el caso de prospección aérea, se hace necesario procesar a través de computadora toda la información. En el caso de estudios terrestres puede no ser necesario el procesado automático, sino que se puede efectuar en forma manual; en ambos métodos, automático o manual, los principios aplicados son los mismos.

Ocasionalmente la importancia de ciertas anomalías puede ser reconocida en las primeras etapas en el proceso de interpretación. Esto sucede cuando los picos prominentes en el canal de uranio y de la relación uranio/torio coinciden, ya sea en un perfil o en un plano de isorradas, y que no están relacionadas con altos topográficos o características hechas por el hombre, pero que están relacionadas con localidades geológicamente favorables.

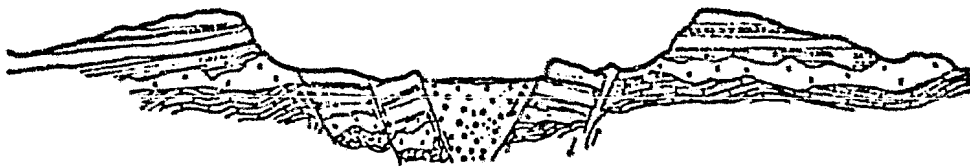
A la importancia de los datos básicos obtenidos no se le debe poner demasiado énfasis, dado que una interpretación productiva requiere un intérprete -- que esté concienzudamente familiarizado con todos -- los métodos apropiados, así como de sus limitaciones, y que así mismo sea capaz de hacer intervenir toda la información complementaria obtenida con res

pecto a la geografía, geología, geoquímica y geofísica del área que se está interpretando. Es evidente que a mayor familiaridad que posea el intérprete en términos de las características más notables de los yacimientos de uranio que puedan ocurrir en el área de estudio, será mayor el valor de la interpretación. En la interpretación práctica el entendimiento de todas las bases y datos requiere del esfuerzo de un equipo de trabajo, debido a que la gran variedad de conocimientos requeridos va más allá de los límites de cualquier técnica aislada; tal es el caso de la exploración de materiales radiactivos. La integración de los técnicos es la llave para una exploración exitosa, y el proceso de interpretación no se completa hasta que todos los datos de las geociencias han sido integrados y correlacionados en la mejor forma posible.

Los procedimientos de interpretación variarán en el detalle de acuerdo con el propósito, la escala y el tipo de estudio involucrado, localización del área y el tipo de datos complementarios que se tengan para obtener la mejor interpretación.

En lo que se refiere al área objeto de este estudio, específicamente se mencionará la interpretación de la anomalía presentada; en el resto de las anomalías se efectuaron trabajos similares.

La anomalía de referencia se localiza en la parte W del área de estudio (Plano 3.4); geológicamente se ubica en la Formación Salto, suprayaciendo concordantemente a la Formación Yerbabuena y de igual forma suprayaciéndole la Formación Alumbre.



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA.  
MEXICO.

Dentro de la F. Salto se observan zonas de oxidación con dirección N-S (Plano 3.9), en las cuales - la intensidad radiométrica aumenta notablemente con cierta continuidad en algunas porciones de esta zona. Se observa mineral secundario de uranio de color amarillo-verdoso, que en algunas muestras se clasificó como uranofano, en menor proporción meta-uranofano y torbernita.

Analizando el plano de cuenta total (Plano 3.5) - se observa cierta alineación de valores altos en la parte Oeste, con dirección N-S, coincidiendo con la franja de oxidación de la roca; en la parte Este sucede lo mismo. Las zonas de mayor interés se consideran de la isorrada de 7000 cp10s a mayores.

En el canal de bismuto 214 (Plano 3.6), las zonas de mayor intensidad se consideran a partir de la isorrada de 400 cp10s; en la configuración se observa una alineación y continuación de altos que también corresponde con la franja de roca oxidada - con algunos datos puntuales hacia el centro del área; en el límite Este y en el centro no se observan valores altos. La lectura mínima registrada en este canal es de 77 cp10s y la máxima de 16302 cp10s, considerando un fondo de 100 cp10s para toda el área. En el canal de talio 208 (Plano 3.7) las zonas de mayor intensidad son a partir de la isorrada de 100 cp10s, con fondo de 50 cp10s. La lectura mínima registrada es de 39 cp10s y la máxima de 1307 cp10s.

En la relación Bi/Tl (Plano 3.8) tenemos la misma alineación de valores que en los canales de Bi y Tl, con una relación mínima de 1.51 y una máxima -

de 12.47. Una vez efectuado el análisis, de la información anterior y la correlación con la litología y estructura del área se determina que ésta es favorable para la acumulación de minerales de uranio y que además se cuenta con presencia de mineral secundario de este elemento; que la zona de interés de las partes W y E es correlacionable litológicamente, formando un sólo paquete emplazado dentro de la Formación Salto en la zona de oxidación.

Las tres primeras secciones presentadas tienen - dirección E-W (ver Plano 3.9) y una separación entre secciones de 60 metros con estaciones cada 10 m y a 1 m en las zonas de mayor intensidad. En el eje de las ordenadas se representa la intensidad de radioelementos en cp10s y en el de las abscisas la distancia en metros (Planos 3.10, 3.11, 3.12).

En las tres secciones anteriores, se manifiesta - la concentración de material radiactivo en el flanco W y que corresponde precisamente a la capa alterada por oxidación de la Formación Salto, correlacionando esta información con el mapeo geológico nos muestra en las zonas cubiertas la continuidad de este cuerpo de alteración. Con esto se apoya la interpretación dada anteriormente ya que es un sólo cuerpo el que se detectó, correspondiendo con la geología. En el plano 3.9 se observa la localización de barrenos programados para la evaluación de esta zona, en este estudio no se discute lo referente a perforación y en cuanto a la evaluación e interpretación de los registros se presenta en el punto 2.5.2.

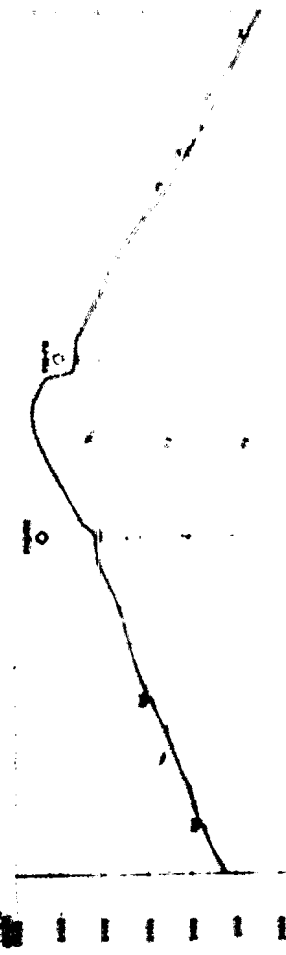
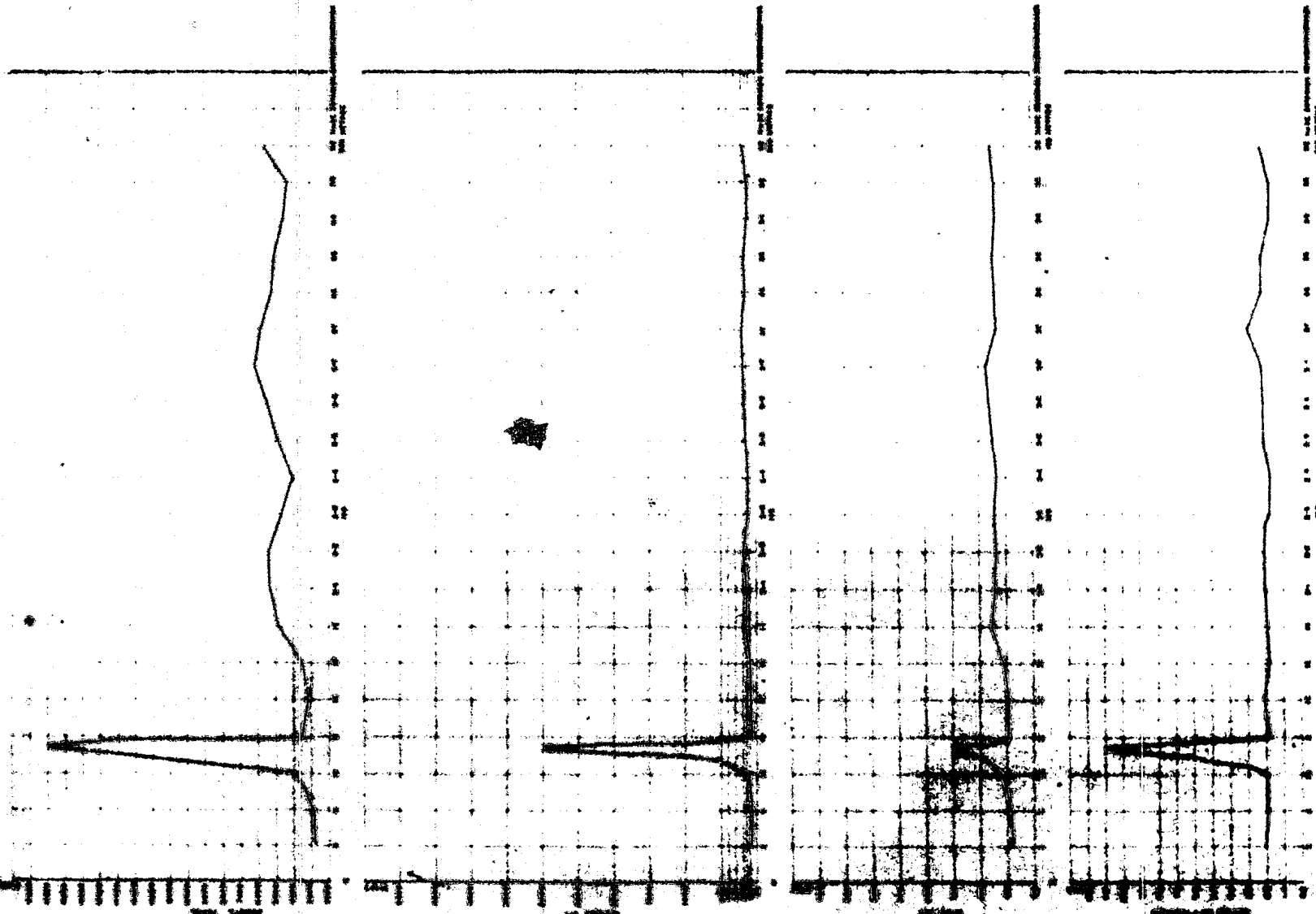
En las secciones radiométricas siguientes se observa

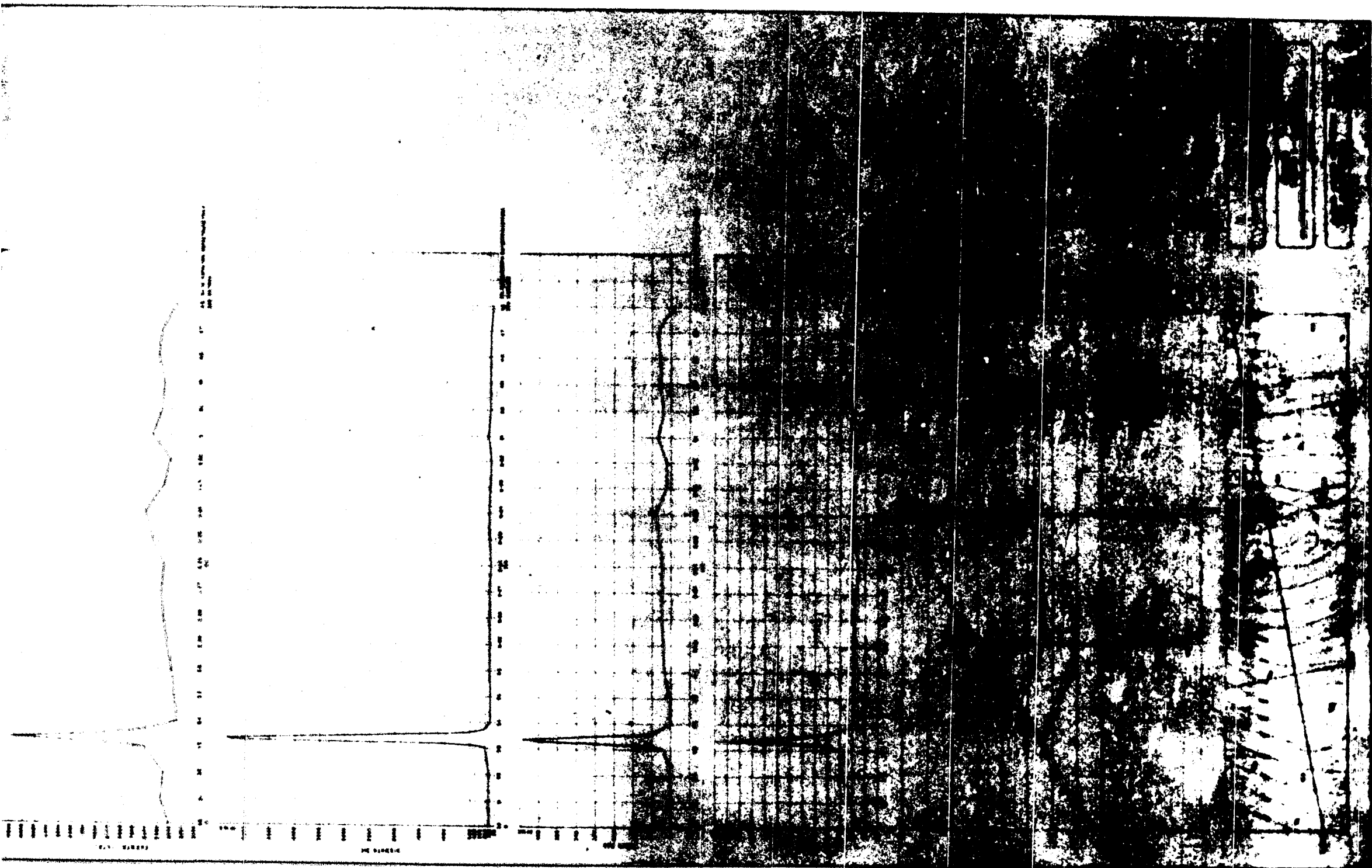


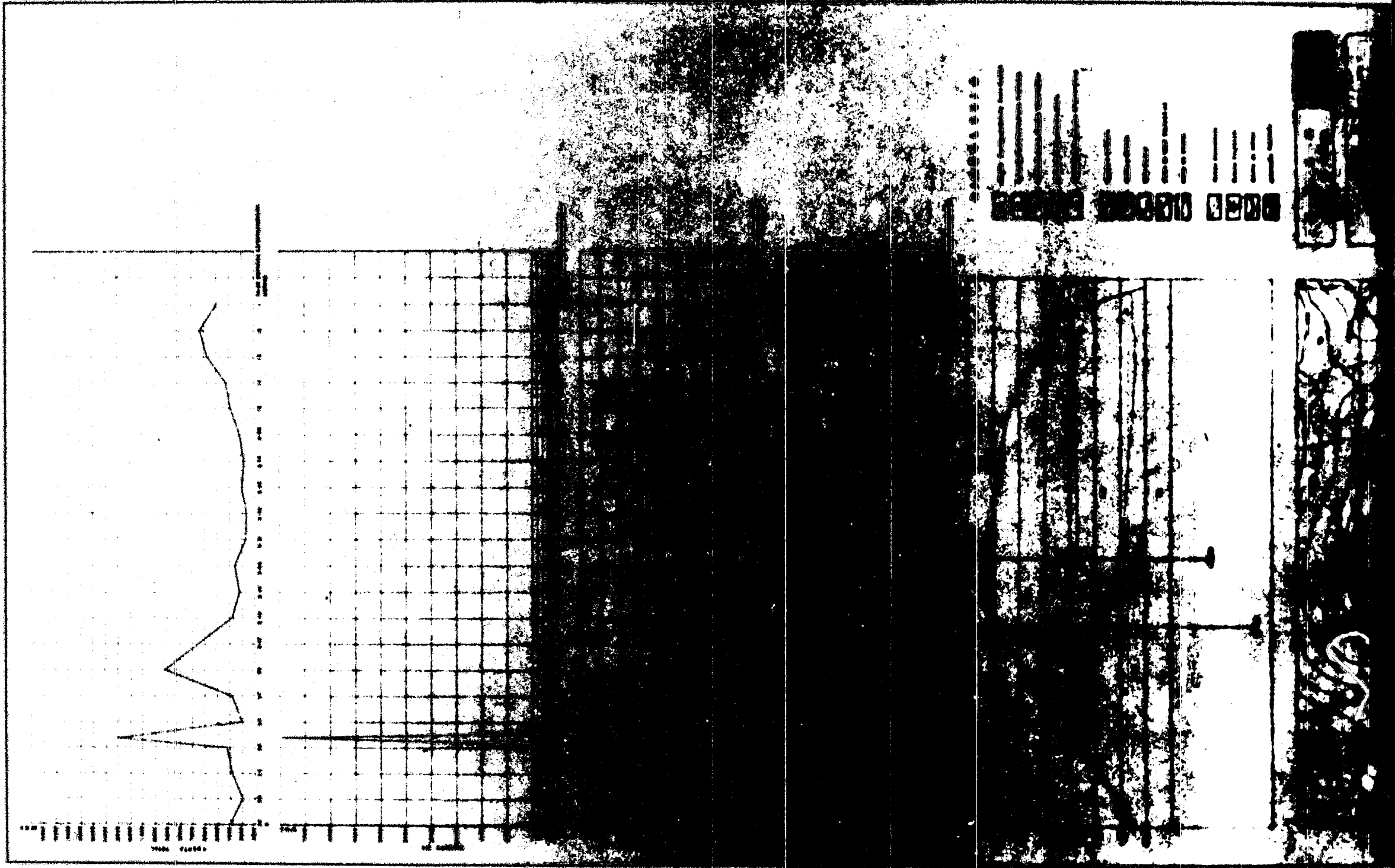
Vertical text on the right margin, possibly a page number or reference code.

SIMBOLOGIA

- 1. ...
- 2. ...
- 3. ...
- 4. ...
- 5. ...
- 6. ...
- 7. ...
- 8. ...
- 9. ...
- 10. ...









# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE GONETO, DGO.

Y APLICACION EN EL AREA GERRO MONTOSA MEXICO.

en las Este-Oeste (ver plano 3.13), una tendencia horizontal de cuerpos mineralizados, quedando las curvas abiertas por falta de información. Se podría interpretar la misma tendencia en cada una de estas secciones ya que las características litológicas y estratigráficas son similares fuera del área de los barrenos.

En las secciones Norte-Sur (ver plano 3.14) el comportamiento de las curvas manifiesta zonas en las que hay mayor concentración de minerales radiactivos, que en lo general corresponden a los contactos de los miembros Ts1-Ts2 y Ts2-Ts3 todo dentro de la Formación Salto. A mayor profundidad, correspondiendo con la Formación Alumbre, se detectaron pequeños espesores aislados que no tienen continuidad en toda la sección. Partiendo del objetivo de obtener una configuración radiométrica para determinar los cuerpos mineralizados en el subsuelo, para la interpretación geofísica es empleado el método de secciones transversales, el cual es aplicable a cuerpos minerales largos, delgados y extendidos, depósitos en veta, depósitos tabulares delgados o depósitos de placer. El volumen de este tipo de cuerpos puede ser estimado de secciones transversales paralelas sobre las cuales son dibujadas las curvas radiométricas con los datos de los registros de rayos gama y de muestras analizadas producto de la perforación. Las secciones deben ser tan cerradas como los datos lo permitan. Si la variación en forma y tamaño de secciones transversales adyacentes es pequeña, el volumen puede ser tomado del área de las dos secciones multiplicada por la distancia entre ellas.

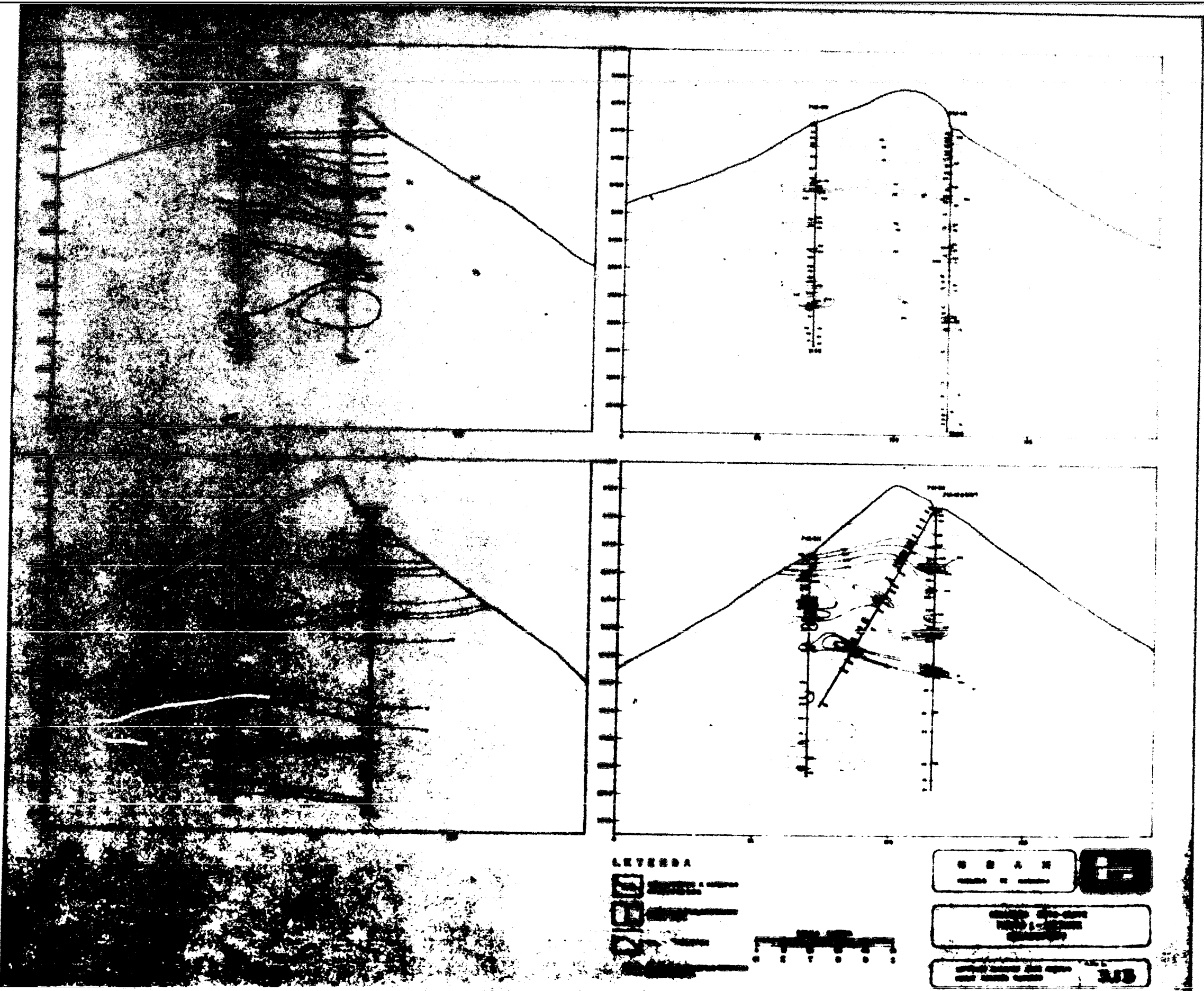
Con todas las secciones interpretadas, se da el área calculada en secciones paralelas y el espesor con las secciones sensiblemente perpendiculares, dando por resultado el volumen, o bien calcular mediante la fórmula aplicable a volumen de prismas truncados.

Para cada cuerpo interpretado en las secciones, se determina el espesor mineralizado y la ley de  $U_3O_8$ , esto se calcula con los datos de todos los registros de pozo que cortan el cuerpo. Una vez determinado el volumen de cada cuerpo el cual es determinado por las curvas en cuentas por segundo, se aplica la tabla 2.9, para saber en forma aproximada la ley de  $U_3O_8$ .

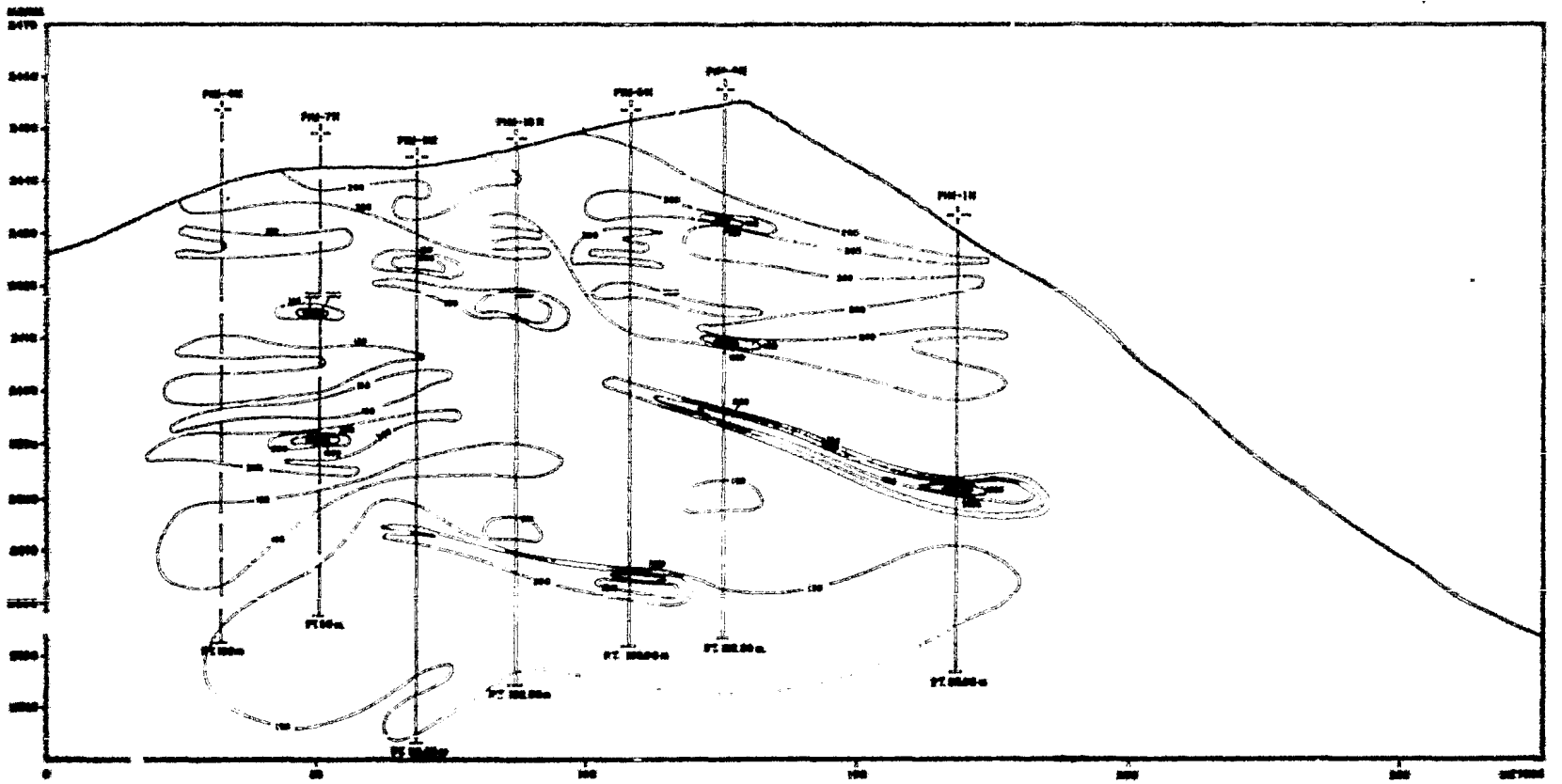
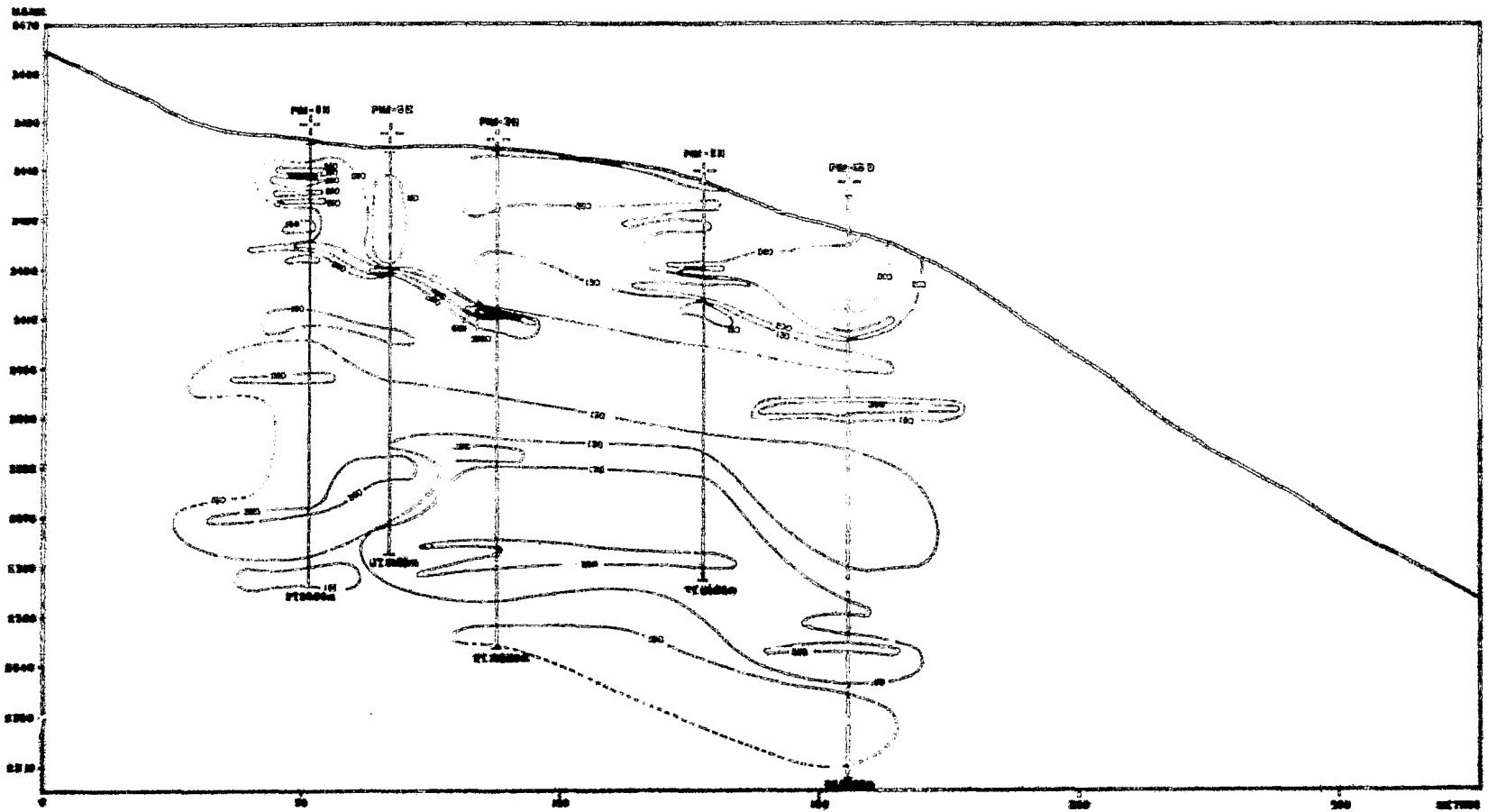
TABLA 2.9.- Valores aproximados de cps correspondientes a % e  $U_3O_8$ .

cps	% e $U_3O_8$	Características
hasta 199	menos de 0.0100	No económico
200- 399	0.0100 - 0.0199	Mineral lixiviable
400- 599	0.0200 - 0.0299	Mineral ley baja
600- 999	0.0300 - 0.0499	Mineral ley baja
1000-1499	0.0500 - 0.0749	Mineral a planta
1500-1999	0.0750 - 0.0999	Mineral ley alta
2000-mayor	0.1000	Mineral ley alta




Con el volumen calculado y el peso específico, considerado de 2.4-2.6 ton/m<sup>3</sup>, se obtiene el tonelaje de mineral. Con el dato anterior multiplicado por la ley de  $U_3O_8$ , nos da las toneladas de  $U_3O_8$  consideradas como probables.







**LEYENDA**

-  LÍNEAS DE NIVEL A INTERVALO UNIFORME EN C.P.S.
  -  PUNTO DE ALTURA INDICADO EN C.P.S.
  -  PERFIL TOPOGRÁFICO
- NOTA: DATOS TOMADOS DE LAS HOJAS DE DATOS DE ESTE MAPA.



**U N A M**  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

**INGENIEROS NORTE - SUR**  
**PUNTO 1 - METATE**  
CONDUCTIVIDAD

---

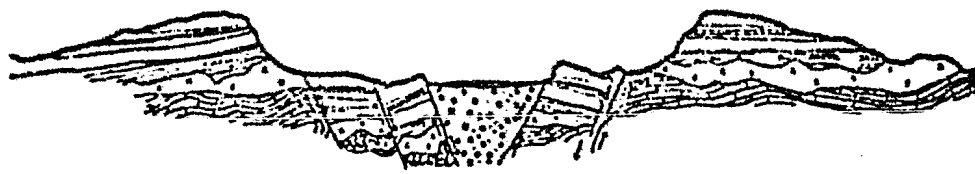
C. 314

Todo lo anteriormente expuesto describe el método geofísico para evaluar en forma preliminar un posible yacimiento.

El objetivo final en el presente trabajo no fue logrado ya que no se cuenta con la información necesaria, ya que en este caso se tiene información de perforación exploratoria no de evaluación, pero el método es factible aplicarlo en lugares donde se tenga la información apropiada.

En las anomalías restantes, se observan características similares, comprobando en todas ellas que la mineralización se encuentra en la Formación Salto.

Cualquiera de las anomalías mostrada por sí sola sería de poco interés, ya que el espesor determinado no es mayor de 4 m y las leyes calculadas, en forma cuantitativa, a través de los registros de rayos gama, proporcionan valores promedio de alrededor de 0.0300% e  $U_3O_8$  en la zona de alteración y de 0.0100% e  $U_3O_8$  en lo que corresponde geológicamente a Ts3. Al comprobar la manifestación radiactiva en todas las anomalías localizadas el interés se hace manifiesto al correlacionar todas ellas en una sola Formación (Ts), que se emplaza en forma tabular en toda la extensión del Cerro Montosa. Además la interpretación obtenida es reforzada por nueve barrenos efectuados en la parte superior de esta estructura, los cuales cortan Ts a la profundidad estimada con un espesor mineralizado dentro de la misma Formación en varios de los barrenos.



# ESPECTROMETRIA DEL URANIO EN LA SIERRA DE CONETO, DGO. MEXICO.

Y APLICACION EN EL AREA CERRO MONTOSA.

## 5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Con los resultados obtenidos se muestra que la espectrometría terrestre delimita el área de interés superficialmente, sirviendo como base para programas de perforación exploratoria, haciendo que un proyecto sea más económico al enfocar los barrenos en las zonas favorables detectadas en superficie.

En el área presentada no se observan, megascópicamente, minerales de uranio en las muestras obtenidas de la perforación; es en los registros de rayos gama donde se detectan zonas anómalas que se correlacionan formando lentes de poco espesor y baja ley, principalmente en los contactos de Ts2 y Ts3, y que no representan interés económico. En el miembro Ts3 se considera una ley promedio de 0.0100% de  $U_3O_8$ , lo cual es clasificado como no económico o de ley muy baja, limitando el ser económicamente explotable en el momento actual.

Cada anomalía del área analizada aisladamente es de poco interés por su bajo contenido de mineral. Al comprobar y correlacionar las manifestaciones radiactivas en todas ellas, el interés crece, se considera que en la Sierra de Coneto se puede tener más de 10,000 toneladas de  $U_3O_8$  con leyes entre 100 y 200 gr/ton, teniendo proyectos de gran tonelaje y baja ley, para los cuales, los métodos de recuperación no están bien desarrollados, siendo otra limitante que se presenta para su explotación.

El método para evaluación preliminar no fue posible aplicarlo, por falta de más información ya que se necesitaría tener mayor perforación para bloquear

en forma apropiada el área. El método se expone ya que en estudios con información apropiada debe dar los resultados planteados.

Al comprobar la mineralización de la Formación Salto en las anomalías del área, la localización de anomalías en la Formación Yerbabuena, así como la radiometría alta de esta Formación (700-800 cps promedio para Ty), y de acuerdo a la topografía existente, se observa erosión de grandes bloques de las Formaciones mencionadas, además de que gran cantidad de uranio se ha lixiviado, depositándose en la Cuenca de La Laguna Santiaguillo. El fenómeno anterior puede formar depósitos de importancia si encuentra trampas estratigráficas o ambientes reductores apropiados. Para localizar este tipo de depósitos es necesario aplicar otros métodos geofísicos de exploración, se recomienda emplear Métodos Eléctricos por su economía y rapidez, así como por considerarlo apropiado. El uranio es poco conductor de electricidad (con resistividad de 30 microhm-cm), aproximadamente la mitad de la del hierro, pero es posible que esté asociado a minerales más conductores, por ejemplo Fe, Sulfuros, etc., y así poder localizar indirectamente los minerales de uranio.

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

- DROULLARD, R.F., DODD, P.H., "Gamma-ray logging techniques in uranium evaluation", Proc. 2nd U.N. conf. Peaceful Uses at Energy (Proc. Conf. Geneva, 1958) 3, UN, New York (1958) 46.
- SCOTT, J.H., DODD, P.H., DROULLARD, R.F., MUDRA, P.J., "Quantitative Interpretation of gamma-ray logs", Geophysics 26 (1961) 182.
- CLARK, S.P., PETERMAN, Z.E., HEIER, K.S., "Abundances of uranium, thorium and potassium", Handbook of Physical constants, Geol. Soc. Am. Men. 47 (1966).
- DODD, P.H., "Uranium Exploration Technology", Geology, Mining and Extractive Processing of Uranium, Ist. Min. Metall, London (1976).
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiometric Reporting Methods and Calibration in Uranium Exploration, Technical Reports Series No. 174, IAEA, Vienna (1976).
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Gamma-Ray Surveys in Uranium Exploration, Technical Reports Series No. 186, IAEA, Vienna (1979).
- M.G. STOLL, 1972. Field Method of determining uranium ore reserves. US AEC, Grand Junction, Co.
- W.H. TAIT, PhD Radiation Detection. North East London Polytechnic (p.47). Ed. Butterworths Group 1980 ISBN-0-408-10645
- LEVINE N,IRA Physical Chemistry (P.569, 599). McGraw-Hill, Inc. 1978.
- GOMEZ S. J. Informes mensuales. Informes Internos INEN y URAMEX. 1976 a 1982.
- MARTINEZ S. J. Informes mensuales. Informes Internos INEN y URAMEX. 1976 a 1981.



