



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

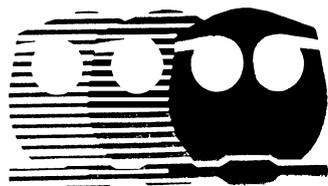
FACULTAD DE QUÍMICA

**“RECUPERACIÓN DE JALES DE TORIO EN LA MINA
DEL MUERTO, MUNICIPIO DE SAN PABLO
HUITZO, DISTRITO DE ETLA, OAXACA.”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO**

**P R E S E N T A :
RAYMUNDO SÁNCHEZ JERÓNIMO**



MÉXICO, D. F.

2008



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.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: BELLO GARCÉS SILVIA
Vocal: HUERTA CERDÁN ANTONIO
Secretario: JUÁREZ SÁNCHEZ FAUSTINO
1er. Suplente: CHÁVEZ MARTÍNEZ MARGARITA
2do. Suplente: RAMÍREZ VIEYRA JOSÉ GUADALUPE

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Laboratorio de Radiactividad Natural. Instituto de Geofísica, UNAM.
Laboratorio de procesos de Separación y Concentración Edif. "D" Fac. Química, UNAM.

ASESOR DEL TEMA: M. en C. Faustino Juárez Sánchez.

SUSTENTANTE: Raymundo Sánchez Jerónimo.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a mis padres y a mi hermano, el haber hecho de mi lo que soy hasta este momento, agradezco su apoyo, comprensión, amor y cuidados, sin los cuales no tendría hoy la satisfacción de ver convertida mi carrera en realidad.

Agradezco a mis abuelos, primos y tíos, que me apoyaron y me animaron siempre para que nunca desistiera de mi estudio, a ellos por que siempre creyeron que podía lograrlo.

Agradezco a todos mis amigos y maestros, que tuvieron la paciencia de enseñarme cosas nuevas y recordarme las cosas que ya sabía y tenía olvidadas.

Agradezco en general a todas las personas que he conocido en mi vida, pues gracias a ellos y sus experiencias, buenas o malas, aprendí a ser la persona que soy hasta hoy.

Y por ultimo sin ser menos importante agradezco a mi Boni, el haberme apoyado a finalizar mis estudios, el querer vivir conmigo los buenos y malos momentos y compartir conmigo la realización de mi trabajo.

Gracias a todos por ser mis mi familia, amigos y maestros, gracias por creer en mi.

Salmo 23

El señor es mi pastor,
nada me falta.
Me hace descansar en verdes
pastos,
Me guía a arroyos de tranquilas
aguas,
me da nuevas fuerzas
y me lleva por caminos rectos,
haciendo honor a su nombre.
Aunque pase por el mas oscuro
de los valles,
no temeré peligro alguno,
porque tu, Señor, estas conmigo,
tu vara y tu bastón me inspiran
confianza.
Me has preparado un banquete
ante los ojos de mis enemigos;
has vertido perfume en mí
cabeza,
y has llenado mi copa a rebosar,
Tu bondad y tu amor me
acompañan
a lo largo de mis días,
y en tu casa, oh Señor, por
siempre viviré.

INDICE

CAPITULO I:	5
INTRODUCCIÓN.....	5
Planteamiento del problema.	5
Objetivos.....	6
Hipótesis.....	6
CAPITULO II:	7
ANTECEDENTES.	7
Minerales de Uranio y Torio.....	8
Procesos de Contaminación y lixiviación de minerales.....	10
Análisis nuclear con técnicas de bajo fondo.	15
Antecedentes del estado de Oaxaca.	19
Sitio de estudio.	22
Minería del Lugar.....	23
Separación de minerales	26
CAPITULO III:	29
DESARROLLO EXPERIMENTAL.	29
Material y equipo	29
Muestreo en campo.....	30
Preparación de muestras.....	31
CAPITULO IV	32
Resultados.....	32
Análisis de resultados:.....	50
CONCLUSIONES.....	53
BIBLIOGRAFIA.....	54
ANEXO I Cadenas radiactivas de Th y U	55
ANEXO II GLOSARIO	56
ANEXO III La radiactividad.....	58
ANEXO IV Espectros de las Muestras analizadas por espectrometría gamma.....	62

CAPITULO I:

INTRODUCCIÓN.

Planteamiento del problema.

La producción minera es una actividad económica de suma importancia, de ella dependen pueblos enteros y la economía de un país. Sin embargo, resulta ser una de las actividades de mayor impacto ecológico, ya que cualquier tipo o método de explotación de un mineral tiene asociada la producción de contaminantes y desechos, estos últimos pueden llegar a ser de miles de toneladas y que resultan ser altamente peligrosos para el ambiente, como es el caso de los jales y minerales de baja ley que dejan de ser explotados comercialmente.

En el estado de Oaxaca se encuentra una mina abandonada de torio, en la cual se encuentran leyes importantes de mineral explotable. Ésta se encuentra en la pegmatita llamada del Muerto, la cual le da el nombre a la mina en el municipio de San Pablo Huitzo, distrito de ETLA.

La presencia en el exterior de material proveniente de la mina (ganga, mineral y jales), representa un punto de alto riesgo de contaminación ya que el material contiene concentraciones altas de Th y TR (tierras raras), por lo que al producirse una lixiviación natural de estos minerales, estos son arrastrados al río y finalmente a la presa Matías Romero, ubicados debajo de la mina, generando un problema ambiental, principalmente a los habitantes del lugar, debido a que dicha presa suministra agua para riego, consumo humano y producción de trucha.

La importancia de este trabajo consiste en el planteamiento de técnicas sencillas que permitan la eliminación de jales de los alrededores de la mina, los cuales, pueden servir para una posterior recuperación de Th y TR (tierras raras) como elementos puros u óxidos y otros metales con valores comerciales.

Objetivos.

-Plantear un proceso de separación mecánica eficiente que permita la recuperación de jales de Th, TR y otros metales en el material depositado en el exterior y galerías de la mina, así como para la posible explotación del mineral dentro de la misma, el cual se ha considerado de muy baja ley en los primeros niveles de la Mina "El Muerto".

Hipótesis.

Los procesos de separación y concentración de torio empleados en la Mina El Muerto, no fueron lo suficientemente eficientes para recuperar en su totalidad el mineral de torio, así como otros minerales que ahora son económicamente atractivos para su recuperación.

Por lo anterior se considera para este trabajo la aplicación del proceso de separación sencilla en función de sus propiedades físicas, así como una separación más efectiva en función del tamaño de partícula, siendo el punto de mayor importancia el considerar al contenido de Th como trazas y por lo tanto trabajar en su concentración como mineral de pobre ley.

Si se aplican procesos físicos de separación adecuados a la mezcla de Th y se trabaja a la granulometría apropiada, se podrá recuperar Th, así como otros minerales sin recurrir al uso de reactivos químicos que podrían favorecer un daño ecológico severo al ambiente y a los pobladores del lugar.

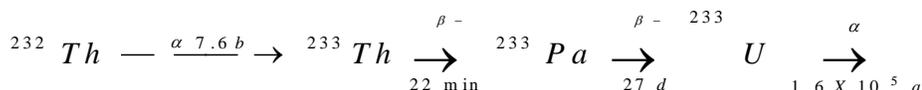
CAPITULO II:
ANTECEDENTES.

TORIO.

El torio se encuentra ampliamente distribuido, pero el mineral principal es la arena de monacita, un fosfato complejo que también contiene lantánidos. La arena se digiere con hidróxido de sodio y los hidróxidos insolubles se disuelven en ácido clorhídrico. Cuando el pH de la solución se ajusta a 5.8, se precipitan el torio y el uranio y un 3% de los lantanoides en forma de hidróxidos. El torio se recupera por extracción desde una disolución > 6M de ácido clorhídrico mediante tributifosfato en queroseno.

El compuesto más común de torio es el nitrato $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ soluble en agua, alcoholes, cetonas y ésteres. En solución acuosa, el ion Th^{4+} se hidroliza a pH superior a 3. Forma sales complejas como $\text{K}_4[\text{Th} \text{OX}_4]4\text{H}_2\text{O}$ y $\text{M}^{\text{II}}[\text{Th}(\text{NO}_3)_6]$. Por calentamiento, el nitrato forma el dióxido refractario blanco ThO_2 . Por acción del CCl_4 sobre éste a 600°C se forma el ThCl_4 cristalino blanco que actúa como ácido de Lewis, (Cotton, 1986).

Un isótopo importante es ^{233}U , el cual no existe en forma natural pero puede ser producido bajo la irradiación de torio natural con neutrones térmicos (de baja energía).



Se estima que >100 Kg ^{233}U es también fisionable con neutrones térmicos y representan el modo por el cual el torio puede ser convertido en un reactor nuclear para fisionar el material, (Choppin, 1980).

Las tablas que se presentan a continuación (1, 2, 3, 4 y 5) son una recopilación de varias propiedades que presenta el torio, (Rivera, 1987).

Tabla 1.- Propiedades físicas.

Densidad	11.72 g/ ml
Parámetro reticular (25°C)	5.08 +- 0.01Å fase a
Parámetro reticular (1400°C)	4.11+- 0.01 Å fase b
Peso atómico	232.038 g/mol
Radio covalente	1.65 Å
Volumen atómico (25°C)	19.9 mL/mol

Tabla 2.-Propiedades Termodinámicas.

ΔHf (1755°C)	4.6 Kcal
ΔSf (1755°C)	2.2 cal
ΔHv (1755°C)	130 Kcal/mol
ΔSv (1755°C)	29 cal/(mol °K)
Punto de fusión	1755 °C
Punto de ebullición	4788°C

Tabla 3.- Propiedades térmicas

Calor latente de fusión	4.6 Kcal/ mol
Calor latente de vaporización	130Kcal/ mol
Capacidad calorífica (25°C)	6.53 cal/ mol K
Conductividad térmica (cal /seg * cm **°C)	100°C = 0.090
	300°C = 0.086
	500°C = 0.102
	650°C = 0.108
Difusividad térmica (200°C)	0.28 cm2/seg

Tabla 4.-Propiedades mecánicas.

Temperatura de recristalización	650°C
Temperatura de sinterización	1100° a 1200°C
Temperatura de trabajado en caliente	750° a 900°C
Módulo de Young	10.5X106 psia
Módulo de corte	4.0X106 psia
Módulo de Poisson	0.394
Resistencia a la tensión	219MPa
Límite de resistencia	144 MPa
Elongación	34%
Reducción en área	35%

Tabla 5.- Propiedades eléctricas

Conductividad eléctrica (20°C)	0.0653 W ⁻¹ cm ⁻¹
Primer energía de ionización	6.08 eV
Resistividad eléctrica (25°C)	15.7 Ω/cm
Temperatura de superconductividad	1.39 °K

Corrosión por el agua. Cuando el torio se introduce en agua destilada hirviendo se cubre con una película de óxido y normalmente gana peso. Ensayos de corrosión efectuados a 178°C, demostraron que la velocidad de corrosión era relativamente baja durante unos días y luego se aceleraba notablemente, acercándose a una velocidad de 0.7 mg/cm², después de quince a veinte días; sin embargo a una temperatura de 315°C, el ataque fue extraordinariamente rápido (Rivera, 1987). La corrosión por agua a temperatura ambiente, no es significativa, debido a al energía de activación que se requiere para romper la película de oxido formada.

Corrosión por gases. El aire ataca al torio, según una ley parabólica, a bajas temperaturas y lineal a temperaturas elevadas. El torio en polvo se inflama en el aire para formar el dióxido de torio.

El oxígeno ataca al torio siguiendo una ley parabólica entre 250°C y 350°C, con una energía de activación para esta reacción, de 31Kcal/ mol. Entre 350°C y 450°C, la oxidación sigue una ley lineal con el tiempo, y una energía de activación de 22 Kcal/mol. Una característica de este ataque es que, por debajo de 450°C, la oxidación es endotérmica, mientras que por encima la reacción es enormemente exotérmica (Rivera, 1987).

Minerales de Uranio y Torio.

Todos los elementos actinoides son radiactivos. La existencia en la Tierra de uranio y torio se debe a que las vidas medias de los isótopos ²³⁵U, ²³⁸U y ²³²Th son lo bastante grandes como para hacerlos persistir desde su génesis. Estos isótopos son los únicos que se forman en las

series radiactivas y se encuentran en los minerales de uranio y de torio. Incluso las vidas medias de los elementos transuránicos más estables son cortas, por lo que cualquier cantidad formada durante el génesis desaparecerá con bastante rapidez (Cotton, 1986).

El uranio no puede ser considerado un elemento raro; éste es encontrado en un gran número de minerales (cerca de 60 son conocidos) dispersos sobre todo el globo terráqueo. La corteza terrestre tiene cerca de 2.7 ppm U, lo cual lo hace ser cercano en abundancia al arsénico o boro.

La concentración de uranio en agua de mar es $\approx 3.3 \text{ mg/m}^3$, con variación de 0.5 – 5 mg/m^3 , dependiendo de la ubicación. En gran medida el uranio de las menas está mezclado con otros minerales y la concentración promedio de éste en la mena triturada es mucho menor; el uranio frecuentemente encontrado en baja concentración, es del orden de 0.01% a 0.03%, asociado con otros valores minerales como la apatita, y en materiales conteniendo carbón como esquisto.

Si esos minerales son recuperados para otros propósitos, el uranio puede producirse como subproducto con un precio capaz de competir con menas ricas en uranio. Las menas de uranio difieren mucho en composición, contienen variedad de otros elementos los cuales pueden obtenerse. Como resultado los métodos de producción difieren considerablemente dependiendo de la mena en particular a ser procesada, aunque si bien en cada caso el proceso usado debe ser muy selectivo.

El torio es algo más común que el uranio en la naturaleza, con un contenido promedio en la corteza terrestre de 10 ppm (en comparación con el promedio de abundancia del plomo que es cerca de 16 ppm en la corteza terrestre). En minerales existe sólo como óxido. Se ha encontrado que el contenido de Th en agua de mar es $< 0.5 \times 10^{-3} \text{ g/m}^3$, el cual es menor comparado con el uranio debido a la baja solubilidad de los compuestos de Th^{4+} (Choppin, 1980).

El mineral más común de torio es la monacita, un fosfato café oro con tierras raras conteniendo 1 – 15% ThO_2 y usualmente 0.1 – 1% U_3O_8 . Esto también se encontró en pequeñas cantidades de granito y gneiss. Se han encontrado grandes depósitos de monacita en India, Egipto, el Sur de África, Estados Unidos y Canadá, con 200 – 400 T ThO_2 en cada ciudad. El torio frecuentemente se encuentra con otros valores metálicos, incluyendo lantanoides como el niobio, uranio y zirconio, estos pueden producirse como subproductos para amortiguar el costo de operación de la extracción. La demanda de ThO_2 ha sido limitada porque su precio ha aumentado muy lentamente con el paso de los años (Choppin, 1980), en México el mineral de torio explotado en la mina El muerto estuvo a cargo de la Comisión de Energía Nuclear en el año 1952, en la tabla 6 se muestra el beneficio que se le dio al mineral (Morales, 1999).

Tabla 6.- Beneficio obtenido por la comisión de Energía Nuclear durante la explotación de la pegmatita El Muerto en el año 1952 (Morales, 1999).

Mineralogía	Explotación (Kg)
Betafita Selecta con una ley media del 15% de U ³⁰⁸ ; 23.5% de Nb ²⁰⁵ 5.95% Ta ²⁰⁵ y 14.8% de TiO ₂ .	2,045.00
Betafita de Segunda con una ley media de 1.7% de U ³⁰⁸ y porcentajes proporcionales de los elementos descritos en la clasificación anterior	4,047.00
Alanita con ley media de 0.03% de U ³⁰⁸ , 1.3% de torio y 15% de TR(Tierras raras.)	53,427.20
Autunita con ley media de 0.95% de U ³⁰⁸	124.40
Monacita con ley media de 0.89% de U ³⁰⁸ , 26.31 % de torio y 47.74% de TR.	77.75
Samarskita con ley media de 4% de U ³⁰⁸	11.70
Urano-Thorianita (clasificada tentativamente) Selecta con ley media de 10% de U ³⁰⁸	143.40
Urano-Thorianita (idem anterior) de Segunda con ley media de 1.26% de U ³⁰⁸	546.200
Uranita con ley media de 43.25% de U ³⁰⁸	5.100

Procesos de Contaminación y lixiviación de minerales.

La erosión y el transporte.

Dentro del ambiente exógeno, uno de los procesos más importantes que tienen lugar debido a la dinámica superficial del planeta es la erosión, es decir, el desgaste físico y químico que sufren las rocas bajo la acción de los agentes atmosféricos. Asociado a este proceso está el de transporte de los productos de la erosión (fragmentos de rocas, minerales, sales) por los mismos agentes que producen los fenómenos de erosión: el agua, el viento.

Los procesos erosivos tienen lugar como consecuencia de tres grupos de fenómenos (Fig.1):

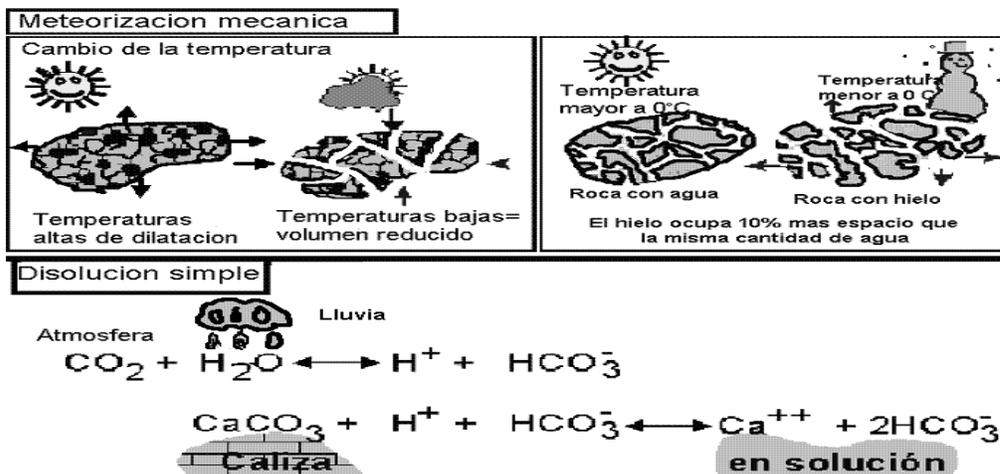


Figura 1.- Procesos erosivos. 1

Procesos erosivos

1. Los de carácter físico, ligados a cambios de temperatura, o de estado físico del agua (cristalización de hielo en grietas, cristalización de sales).
2. Los de tipo químico (disolución de minerales e hidrólisis).
3. Los de tipo biológico (acción de determinados microorganismos, como las bacterias, líquenes, o de las raíces de plantas).

Como resultado, las rocas de la superficie terrestre formadas en determinadas condiciones de presión y temperatura, al quedar sometidas a otras muy diferentes reaccionan con el entorno, lo que induce a un desequilibrio. Esto da lugar a su fragmentación y a la salida de determinados componentes químicos, desde su casi totalidad (si se produce su disolución), a la lixiviación o lavado de determinados componentes, que deja un residuo insoluble enriquecido en determinados elementos o compuestos.

Por su parte, el papel del transporte es también importante, ya que en algunos casos, si su acción es más lenta que la del proceso erosivo, se podrá producir la acumulación *in situ* de los productos de la erosión. En otros casos el proceso erosivo puede suponer el desmantelamiento continuo de estos productos. El transporte juega también un papel muy importante en la clasificación de los productos de la erosión, ya que su mayor o menor capacidad de arrastre y reactividad química condicionan que los productos de la erosión sigan o no siendo transportados.

Como ya se ha indicado, la erosión tiene lugar mediante tres grupos de mecanismos: físicos, químicos y biológicos, que en general se combinan, con mayor o menor importancia de unos u otros en función de un factor primordial: el clima, que condiciona a su vez la disponibilidad de agua, de vegetación, las temperaturas medias, y de sus oscilaciones. Estos factores influyen en la degradación a la intemperie de cualquier sólido. Por ello, hay climas que favorecen la preservación de las rocas, y climas bajo los que se produce una muy intensa meteorización, así como la rápida descomposición de cualquier resto orgánico.

La meteorización física agrupa a aquellos procesos o mecanismos que provocan la disgregación de las rocas, sin afectar a su composición química o mineralógica. Son de naturaleza variada:

- La acción del cambio de temperatura nocturno/diurno, sobre todo en zonas con fuerte insolación, provoca efectos de contracción / extensión térmica de los minerales que producen su fractura. Esta oscilación térmica es especialmente activa en los vértices y aristas de bloques de rocas, y es el principal responsable de la forma de "bolos" de los bloques graníticos sometidos a la acción de la intemperie.
- La acción abrasiva de los materiales arrastrados por el agua, el viento o el hielo (glaciares), que golpean o se frotan contra las rocas, favoreciendo su disgregación mecánica.
- La acción de helada /deshielo en climas húmedos hace que el agua que se introduce como humedad en las grietas de las rocas (formadas por otros procesos, como la oscilación térmica) al congelarse genere unas enormes presiones internas, que tienden a acentuar esas fracturas.

- Del mismo modo, la introducción de aguas cargadas en sales en esas grietas suele ir acompañada de la cristalización de las sales (sulfatos, carbonatos, cloruros) con el mismo efecto de provocar un aumento de la presión en la grieta, que produce su ampliación.
- Al ir aproximándose a la superficie de la Tierra, las rocas que han estado sometidas a altas presiones de confinamiento sufren una pérdida de carga o descompensación litostática, lo que se traduce en la aparición de fracturas que están, por lo general paralelas a la superficie topográfica.
- La fracturación tectónica de las rocas, previa a los procesos erosivos, favorece la meteorización de éstas.

Cada uno de estos procesos se da con mayor o menor importancia en unas regiones u otras en función de su climatología, y lo normal es que en cada región se den varios mecanismos, que pueden ser más o menos activos en cada caso dependiendo de la época del año (variaciones estacionales).

Meteorización biológica

Los organismos provocan también la meteorización de las rocas, en dos vertientes: una biofísica y otra bioquímica.

En el apartado biofísico tenemos fundamentalmente la acción de las raíces de árboles y arbustos, que al introducirse en el subsuelo ensanchan las grietas que puedan existir y colaboran en la fracturación de las rocas. También podemos señalar el papel de algunos animales, sobre todo los que excavan madrigueras, o los organismos costeros que viven sobre las rocas perforando pequeñas oquedades, contribuyendo de forma muy marcada a la acción erosiva del oleaje. Esto, junto con la acción erosiva desarrollada por el hombre, que con sus obras, construcciones, etc., provoca tantos y tan variados efectos erosivos.

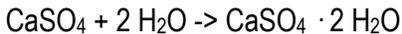
En el apartado bioquímico, las propias raíces de árboles y plantas actúan químicamente con las rocas, captando iones y contribuyendo a la alteración de los minerales. Los líquenes, famosos por su capacidad de colonizar las superficies de todo tipo de rocas, segregan ácidos que permiten su fijación al sustrato rocoso. Por otra parte, los productos metabólicos de los organismos que viven sobre las rocas incluyen productos muy agresivos para éstas, que favorecen su descomposición.

Meteorización química

Las rocas, al estar formadas por minerales, son sensibles al ataque de los agentes químicos existentes en la superficie de la Tierra. Por tanto, las posibilidades de la meteorización química son tan variadas como puedan ser las relaciones que se establezcan entre las propiedades del mineral y la naturaleza del medio ambiente en el que se encuentre. Hay minerales solubles en agua, otros en ácidos débiles o en ácidos fuertes, otros tienen tendencia a incorporar agua a su estructura, algunos se ven afectados por la luz o por el calor solar, etc. Sin embargo, en lo que se refiere a sus efectos, son en su mayor parte de tres tipos: disolución, hidrólisis y oxidación, sin olvidar otros que pueden ser localmente importantes, como la descomposición térmica.

La oxidación de minerales implica el cambio número de oxidación de los metales que contiene, el caso más conocido es el paso del hierro de 2+ a 3+, que afecta a minerales como pirita, olivino, piroxeno, biotita. Esta oxidación produce además un aumento de la carga positiva en el mineral, que tiende a compensarse con la entrada de iones hidroxilo (OH⁻), esto unido al menor tamaño iónico del Fe³⁺, desestabiliza la red cristalina del mineral. La oxidación puede ir acompañada de los procesos que veremos a continuación.

La hidratación implica la absorción de moléculas de agua y su incorporación a la estructura cristalina de algunos minerales. Es un proceso que suele implicar un aumento de volumen del mineral, y que en algunos casos puede ser reversible. El mineral hidratado suele tener distinta estructura cristalina que el original, es decir, se produce la formación de otro mineral. Es el caso, p.ej., de la anhidrita, que por hidratación se transforma en yeso:



Otro caso es el de algunos minerales de la arcilla (las denominadas arcillas expandibles, del grupo de la bentonita), capaces de absorber grandes cantidades de agua, lo que puede traducirse en un aumento de su volumen de hasta un 60%, mientras que al perder agua por desecación se vuelven a contraer.

En algunos casos, la repetición cíclica de procesos de hidratación-deshidratación, propios de climas estacionales, puede provocar la destrucción de la red cristalina del mineral.

La hidrólisis consiste en la descomposición de los minerales debido a la acción de los iones hidroxilo (H₃O⁺) de las aguas ácidas. El proceso implica tres pasos: 1) ruptura de la estructura del mineral, los iones H₃O⁺ se introducen con facilidad en las redes cristalinas, lo que produce la pérdida de su neutralidad eléctrica; para recuperarla, el cristal tiende a expulsar a los cationes, cuya carga es también positiva. Como consecuencia, la estructura cristalina colapsa, y se liberan también los aniones. 2) Lavado o lixiviado de una parte de los iones liberados, que son transportados por las aguas fuera de la roca meteorizada. 3) Neoformación de otros minerales, por la unión de los iones que dan como resultado compuestos insolubles. La intensidad del proceso hidrolítico se traduce en el grado de lixiviación de elementos químicos y en la formación de nuevos minerales. Ejemplo:

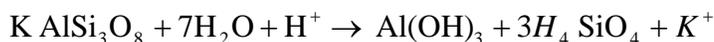
Un mineral frecuente en las rocas ígneas es la ortoclasa. Su hidrólisis produce la pérdida de parte de su potasio y de su sílice:



Es decir, implica la formación de un filosilicato (ilita), sílice (en forma de cuarzo o de gel, que puede ser arrastrado por el agua), y iones potasio, que se lixivian con el agua. Ahora bien, cuando el medio es muy rico en H⁺, se produce también la hidrólisis de la ilita:



Es decir, la formación de caolinita y la liberación total del potasio contenido en el mineral original. En medios aún más ácidos, y a temperaturas más altas, se llega a producir también la hidrólisis de la caolinita, con formación de hidróxido de aluminio, gibbsita:



Otro caso de lixiviación es el que afecta a los carbonatos, en especial a la calcita:



La disolución implica que determinados componentes químicos de la roca pasan de formar parte de ésta, en forma de un compuesto mineral, a formar iones en disolución acuosa. Esto afecta sobre todo a los minerales que constituyen compuestos solubles, como la halita (NaCl) o en menor medida, el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

No hay que olvidar que este proceso implica la disolución de algunos de los componentes de la roca, pero no de otros, es decir, arrastra (o *lixivia*) a unos componentes, los más lábiles, y concentra relativamente a otros en el residuo. En cada caso, dependiendo de la concentración del mineral que se disuelve, los cambios serán más o menos importantes.

Los procesos de disolución e hidrólisis se ven favorecidos por factores climáticos y ambientales, en especial por las altas temperaturas de los climas cálidos que favorecen la dinámica de los procesos, por tanto, la presencia de aniones en el agua la hacen más activa químicamente: en el caso de los aniones Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . La presencia en el área de compuestos "precursores" de estos aniones, como los carbonatos o sulfuros, favorece aún más este hecho. Es el caso, p.ej., de la existencia de yacimientos de sulfuros metálicos.

Es importante observar que frente a estos procesos de disolución y lixiviación hay elementos que se movilizan con mayor facilidad que otros; hay elementos que entran en disolución con gran facilidad, mientras que otros tienden a formar geles, menos solubles, o forman rápidamente compuestos muy insolubles, quedando por tanto retenidos en el residuo de la roca. Así, los compuestos con los siguientes elementos se lixivian por el siguiente orden de mayor a menor facilidad: $\text{Na}_2\text{O} > \text{CaO} > \text{FeO} > \text{MgO} > \text{K}_2\text{O} > \text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3$. Mientras que los que tienden a concentrarse en la roca alterada son: $\text{H}_2\text{O} > \text{Fe}_2\text{O}_3$

Procesos de transporte

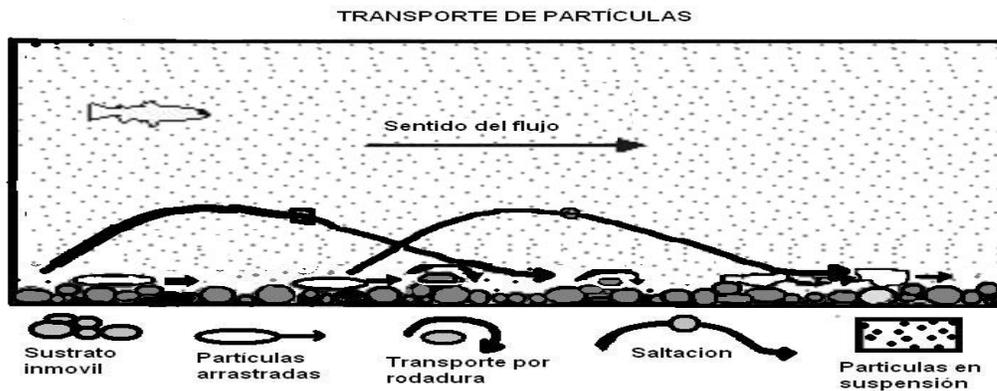
Como hemos visto, la acción de los mecanismos erosivos, físicos y químicos, tiende a dar origen a tres tipos de productos: fragmentos de minerales o rocas (que reciben el nombre de *clastos*), geles y iones en disolución. El transporte se lleva a cabo de tres formas: como iones en solución, como suspensiones coloidales, o como carga en fondo.

Los iones viajan en solución, y para que se produzca su precipitación química han de quedar sometidas a condiciones específicas, como una sobresaturación, como las que ocurren en las salinas. Otra posibilidad es que los aniones y cationes sean fijados por organismos para construir sus caparazones, como es el caso de muchos moluscos, algunas algas microscópicas (diatomeas), u otros microorganismos, que fijan el carbonato cálcico de las aguas. También es posible que la mezcla con otros fluidos produzca la precipitación de determinados compuestos. Por ejemplo, en relación con las emisiones volcánicas submarinas se produce la salida de abundantes metales pesados y formas químicas del azufre, provocando la precipitación de sulfuros de esos metales.

En suspensión se transportan las partículas más pequeñas y los geles, mientras que como carga en fondo se transportan los clastos de mayor tamaño. A su vez, dentro de esta última modalidad existen tres posibilidades: saltación, rodadura o arrastre. El hecho de que las partículas físicas sean transportadas de una u otra forma depende en primer lugar de la velocidad de la corriente (cuanto mayor sea ésta, mayor será el tamaño medio de las partículas transportadas por

cada modalidad). Otros factores que influyen son el tamaño de las partículas, su densidad y su forma: a igualdad de tamaño las más densas serán transportadas con mayor dificultad, mientras que la forma influye sobre todo en el mecanismo de transporte activo: las más redondeadas tenderán a rodar, y las menos, a ser arrastradas, o a saltar (Fig.2).

Fig. 2.- Esquema de transporte de partículas.



El depósito de las partículas se produce cuando la corriente pierde energía, o lo que es lo mismo, velocidad. Primero dejará de ser transportada la carga en fondo, y cuando la energía sea muy baja, es decir, en aguas mansas o al cesar el viento, se depositará también la carga en suspensión.

También en estas condiciones de baja energía de transporte, y sobre todo si se producen cambios en la fisicoquímica de las aguas de transporte (como suele ocurrir en la desembocadura en un mar o lago) se produce la floculación de los geles, constituidos normalmente por partículas arcillosas.

Análisis nuclear con técnicas de bajo fondo.

Generalidades.

Los tipos más antiguos de detectores de radiación nuclear son la cámara de ionización, el contador proporcional y el tubo Geiger – Müller. Cada uno de estos detectores emplea cámaras llenas de gas. El sistema consiste en una cámara llena de gas con un electrodo central bien aislado de las paredes de la cámara. Una diferencia de potencial V , se aplica entre la pared y el electrodo central, a través de la resistencia R , y derivada por el capacitor C_2 (Arriola, 1983).

En su paso una partícula ionizante produce N_1 pares de iones en la cámara. La carga positiva y negativa dentro de la cámara se mueve hacia las paredes de la cámara y el electrodo central respectivamente, ya que esa es la dirección del campo eléctrico. Bajo la condición de que la constante de tiempo RC_2 es mucho mas grande que el tiempo requerido para la colección de la carga, la carga Q , que aparece sobre el capacitor por partícula beta detectada es función del voltaje.

El detector de centelleo consta de dos partes fundamentales: La sustancia luminiscente y la fotocelda, ésta es generalmente un tubo fotomultiplicador. El conjunto se monta dentro de una envoltura opaca a la luz natural, pero a través de la cual puede penetrar la radiación a detectar.

Este dispositivo se utiliza sobre todo en la medida de la energía de radiaciones gamma, donde las cámaras de ionización y los contadores proporcionales no resultan adecuados por la poca densidad de la masa gaseosa empleada para la detección. Cuando una partícula cargada o fotón gamma o X pasan a través del material centellador, pierden su energía al llevar algunos electrones de valencia a la banda de conducción. Dichos electrones pierden energía al volver a su estado normal por diversos procesos, de los cuales el más importante es aquel que tiene lugar con emisión de luz en forma prácticamente inmediata al paso de la partícula nuclear, fenómeno que se conoce generalmente con el nombre de fluorescencia.

Sucede en otras sustancias o configuraciones que los estados excitados son metaestables y perduran cierto tiempo, la fosforescencia corresponde a la emisión de mayor longitud de onda que la fluorescencia y un tiempo característico generalmente mucho más lento. La fluorescencia retardada corresponde al mismo espectro de emisión que la fluorescencia inmediata, pero el tiempo de emisión después de la excitación es más largo. Todo buen centellador debe convertir la fracción de la radiación incidente más alta posible en fluorescencia inmediata y minimizar las generalmente indeseables contribuciones de la fosforescencia y la fluorescencia retardada (Arriola, 1983).

Cuando se desea detectar un radionúclido específico, en que sólo interesa un radioisótopo en particular de una muestra matriz repetitiva, se puede optimizar el voltaje de operación del conjunto centellador- fotomultiplicador, el voltaje de operación óptimo no es una característica del conjunto centellador- fotomultiplicador, pues varía con diferentes radionúclidos. Para la identificación de radioisótopos se debe usar un voltaje (voltaje de calibración) en el que se obtenga una ganancia que permita diferenciar, lo mejor posible, las energías de emisión de los radioisótopos esperados.

Fuente de alto voltaje. En general, las necesidades de los diferentes detectores muestran una gran variedad tanto de voltajes como de corrientes, sin embargo, las necesidades más fuertes las imponen los fotomultiplicadores, ya que requieren altos voltajes (hasta de 3000V) con corrientes de varios mA. Casi todos los detectores de radiación requieren de cierto alto voltaje externo para su operación. Algunas características importantes de estas fuentes de alto voltaje son las siguientes:

- a) Voltaje máximo, mínimo y polaridad.
- b) Corriente máxima disponible.
- c) Grado de regulación contra corrimientos a tiempos largos debidos a cambios de temperatura o a la alimentación de línea.
- d) Capacidad de eliminar ruido de la frecuencia de línea o de otros ruidos de baja frecuencia.

Espectroscopía gamma con detectores de centelleo.

Los mecanismos de interacción de radiación ionizante con el material del detector y con los materiales cercanos al detector producen la forma del espectro. Para la radiación gamma se pueden tener, tres tipos predominantes, que son: efecto fotoeléctrico, dispersión Compton y producción de pares. El efecto fotoeléctrico provoca el fotopico en energía $h\nu = E_\gamma$ y excita sobre el material de blindaje sus rayos X de fluorescencia característicos (esta excitación también se da por efecto Compton). El efecto Compton sobre el detector, se debe a que la dispersión se lleva a

cabo en muchos ángulos. En el material de blindaje sucede la retrodispersión y el pico de retrodispersión aparece muy alejado del fotopico por el gran ángulo de dispersión que se necesita (Arriola, 1983).

Detectores en estado Sólido.

Los detectores de diodo semiconductor, llamados comúnmente de “estado sólido”, dan la mejor resolución de energías, hasta hoy obtenida. Los acarreadores de información básica son los pares electrón- hueco creados en el material semiconductor a lo largo de la trayectoria de la partícula o de la radiación electromagnética. El par electrón – hueco, es análogo en su función al par iónico creado en los detectores de cámara gaseosa. Si se aplica un campo eléctrico al material semiconductor, habrá una migración de electrones y huecos. El movimiento de estos será una combinación de desplazamiento térmico (al azar) y una velocidad neta “guiada” por el campo eléctrico.

La cadena de eventos que tiene lugar en la conversión de la energía de la radiación incidente en luz y en el pulso eléctrico subsiguiente, involucra muchos pasos ineficientes, con lo que la energía requerida para producir un “acarreador de información” (un fotoelectrón) es del orden de 100 eV y el número de acarreadores de información creados por una radiación gamma, beta o alfa típica es de sólo unos cuantos miles y de unas decenas o centenas para rayos X.

Sustancias luminiscentes.

Las sustancias fluorescentes inorgánicas más utilizadas en detectores de centelleo son el sulfuro de zinc activado con plata ZnS (Ag), y el yoduro de sodio activado con Talio NaI(Tl). Este último es el centellador inorgánico más usado, debido a su alta eficiencia de conversión luminosa para electrones rápidos, a su transparencia para la radiación del 80% de su peso; está constituido por iones yoduro, elemento de número atómico relativamente alto ($Z=53$) y que por consiguiente, presenta una gran sección eficaz para la interacción fotoeléctrica con la radiación gamma.

Por otro lado, los centelladores emiten en el rango de ultravioleta, pero los foto multiplicadores tienen su captación óptima más hacia el rojo en el espectro electromagnético por lo tanto la función del elemento activador en el cristal, por ejemplo Tl en NaI, es la de desplazar el espectro de emisión del cristal, para que el foto multiplicador trabaje en su región óptima.

Las características de un material centellador ideal son:

- a) Debe convertir la energía cinética de la partícula cargada o radiación electromagnética, en luz detectable con alta eficiencia de centelleo.
- b) La conversión debe ser lineal; esto es, la cantidad de luz emitida debe ser proporcional a la energía depositada tanto como sea posible.
- c) El medio debe ser transparente a la longitud de onda de su propia emisión para una buena colección de la luz.
- d) El tiempo en el que decae la luminiscencia inducida debe ser corto, para que las señales generadas sean rápidas.

- e) El material debe tener buena calidad óptica y debe manufacturarse en dimensiones que lo hagan un detector práctico.
- f) Su índice de refracción debe ser cercano al del vidrio (≈ 1.5), para permitir un paso eficiente de la luz del centellador al tubo fotomultiplicador.

Ningún material cumple todos estos criterios por lo que al escoger un centellador para un uso particular se debe de hacer un compromiso entre todos estos factores. Las sustancias luminiscentes comúnmente empleadas en detectores de centelleo suelen ser cristales inorgánicos o bien compuestos orgánicos en forma cristalina o disoluciones de ellas, ver tabla 7 (Arriola, 1983). (fig 2.1)

Tabla 7.- Características de las principales sustancias luminiscentes empleadas en detectores de centelleo.

Sustancia	Densidad (g/cm ³)	λ de máxima emisión (en Å)	Eficiencia para rayos β	Cte. de tiempo de caída de luminiscencia (μ S)	Disposición
Antraceno	1.25	4.450	1	0.025	Cristales grandes no muy claros.
Naftaleno	1.15	3.450	0.25	0.075	Buenos cristales.
Nal (Tl)	3.67	4.100	2	0.25	Cristales excelentes, aunque higroscópicos.
ZnS(Ag)	4.1	4.500	2	1	Pequeños cristales poca transparencia.
p-Terfenilxileno	0.87	3.700	0.48	0.007	Disolución líquida.
Terfeni oliestireno	1.06	4.000	0.30	0.005	Plástico.

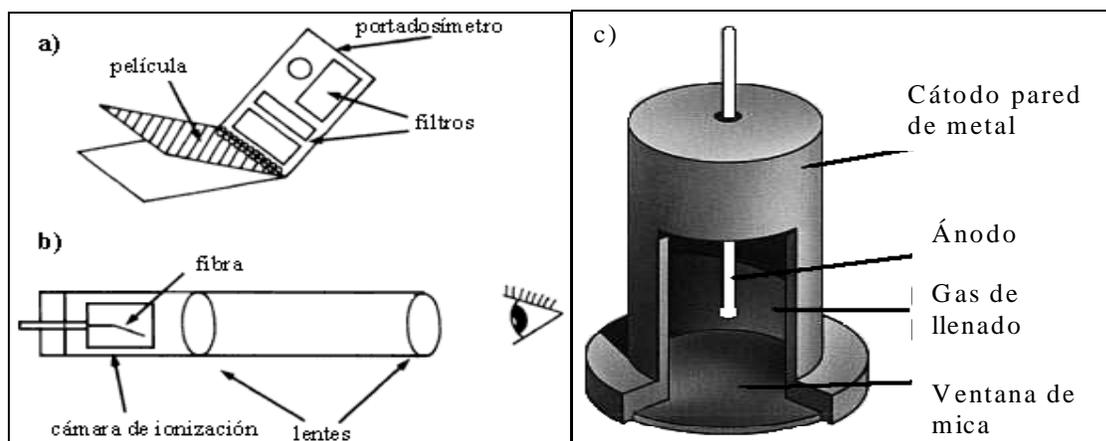


Figura 2.1. Dosímetros de bolsillo. (a) Película fotográfica. (b) Cámara de ionización. (c) contador Geiger

Antecedentes del estado de Oaxaca.

GEOLOGÍA

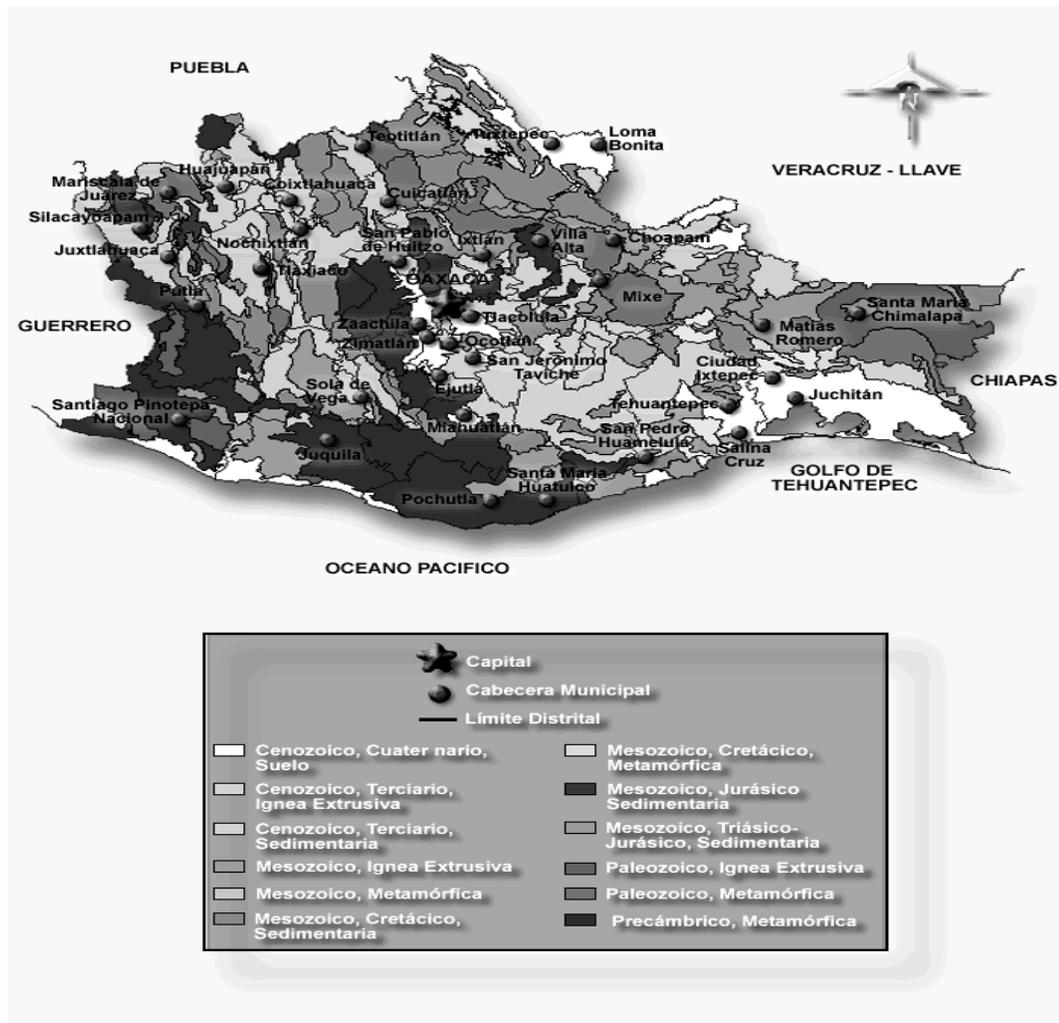
La geología del estado de Oaxaca es muy compleja, en este lugar se encuentran rocas del Precámbrico que son las más antiguas, datan de aproximadamente 600 millones de años, se ubican al sur de la entidad con una dirección oeste-sureste, son principalmente metamórficas y cubren 25.5% de la superficie estatal; las rocas del Paleozoico (375 millones de años) abarcan 11.6%, son de origen metamórfico e ígneas intrusivas (INEGI, 2003).

Las unidades cartográficas más grandes están en la porción norte y oriental, colindando con el estado de Chiapas; el Periodo de la Era del *Mesozoico* con mayor cobertura es el Cretácico (135 millones de años) con 14.3%, representado por rocas de tipo sedimentario y metamórfico, dispersas en todo el estado, concentradas sobre todo en la zona media hacia el norte; otras unidades litológicas abarcan 7.3% pertenecen a la Era del Mesozoico, se localizan al sur, centro y noroeste de la entidad.

Las rocas del Triásico-Jurásico (200 millones de años) se sitúan al norte y noreste, son sedimentarias y cubren 3.9%, en el Periodo Jurásico (180 millones de años) las rocas son generalmente sedimentarias, su cubrimiento estatal es de 0.9%, sus principales afloramientos están localizados al occidente, cerca del límite con el estado de Guerrero, otra unidad se encuentra en el extremo opuesto de la entidad, colindando con la parte sur del estado de Veracruz.

El Periodo Terciario, cubre 25.0% del territorio estatal, compuesto por rocas ígneas extrusivas y sedimentarias, datan aproximadamente de 63 millones de años, se distribuyen en la parte central y norte del estado, algunas unidades litológicas colindan con los estados de Puebla y Guerrero, otras unidades ubicadas al norte colindan con el estado de Veracruz-Llave; los suelos del Cuaternario (3 millones de años aproximadamente), se ubican al sur, sureste paralelamente con la línea de costa; otras unidades importantes se localizan al centro de la entidad y al norte limitando con el estado de Veracruz (Fig.3) (INEGI, 2003).

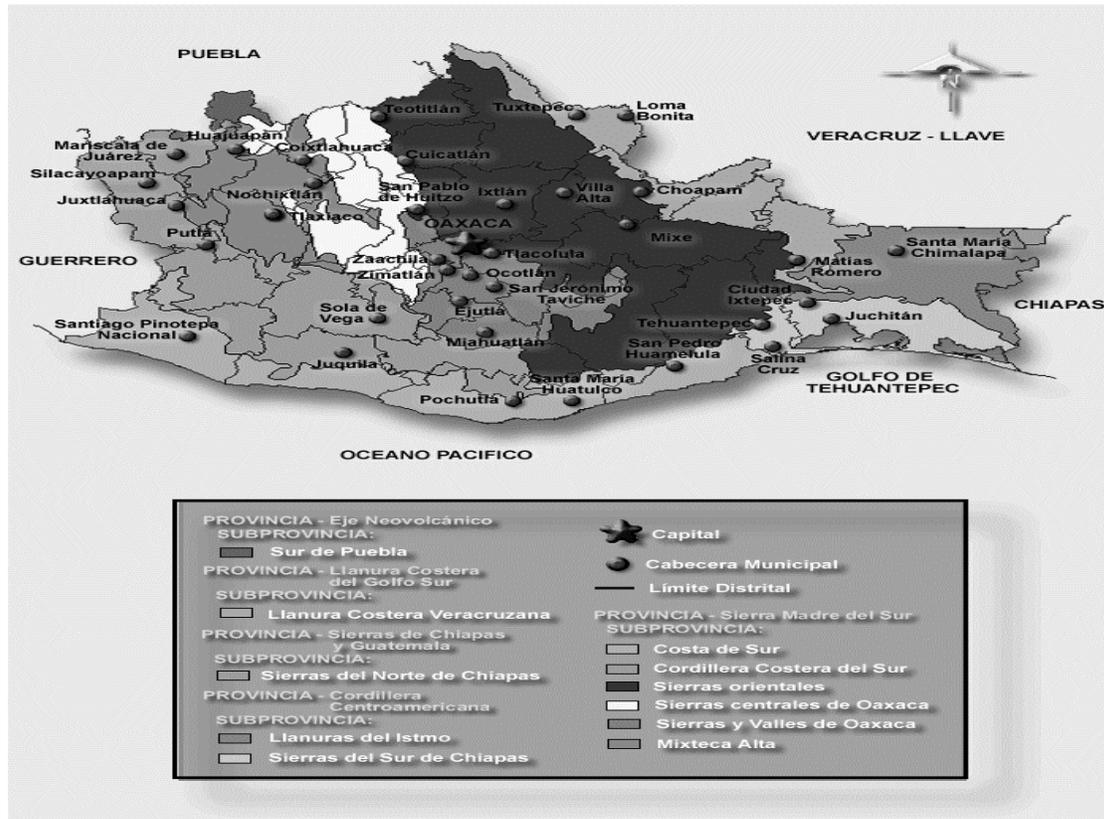
Fig. 3.- Mapa Geológico de Oaxaca.



FISIOGRAFÍA

El estado de Oaxaca abarca parte de cinco Provincias Fisiográficas: a) Eje Neovolcánico, al noroeste con la subprovincia *Sur de Puebla*; b) Sierra Madre del Sur, con las subprovincias *Cordillera Costera del Sur*, que se extiende de noroeste a sur en forma paralela a la subprovincia *Costas del Sur* ubicada en la línea de costa, *Sierra Oriental* que van de norte a sur en la parte centro-oriental del estado, *Sierra Central de Oaxaca* del centro hacia el norte y paralelamente al occidente *Mixteca Alta*, y *Sierra y Valle de Oaxaca* ubicadas al centro de la entidad, estas seis subprovincias ocupan el 80% del territorio estatal; c) Llanura Costera del Golfo Sur con la subprovincia *Llanura Costera Veracruzana* que recorre toda la franja nor-noreste; d) Sierra de Chiapas y Guatemala con la subprovincia *Sierra del Norte de Chiapas*, cubre en forma mínima (0.25%) en el extremo oriente; e) Cordillera Centroamericana, con la subprovincia *Sierra del Sur de Chiapas* en la parte oriente del estado, y hacia el sur de ésta sobre la costa del Golfo de Tehuantepec, la discontinuidad fisiográfica, *llanura del Istmo* (Fig. 4) (INEGI, 2003).

Fig. 4.- Fisiografía de Oaxaca.



CLIMAS

En la zona de estudio ubicada en el centrosur y noroeste se localizan las zonas con climas semisecos, las cuales representan casi el 10% del territorio estatal, e inmersas en ellas están las áreas de climas secos, que no llegan a cubrir el 1%. El clima semiseco semicálido, cuyas temperaturas medias anuales van de 18° a 22°C, abarca los terrenos donde está situada la capital del estado (Oaxaca de Juárez) y las poblaciones Ejutla y Miahuatlán, así como las áreas que rodean a los valles de los ríos San Antonio, Salado, Juquila y Calapa; aquí, la precipitación total anual es baja, pues su rango va de 600 a 800 mm, aunque en algunas porciones es menor. El clima semiseco muy cálido y cálido comprende la zona de Yautepec y parte del valle del río Tequisistlán, cuya precipitación es similar a la del clima anterior, pero la temperatura media anual es mayor a 22°C. En los alrededores del curso alto de los ríos Juquila y San Antonio están ubicadas las áreas de clima semiseco templado, en las cuales la temperatura media anual varía entre 12° y 18°C y la precipitación total anual es menor de 600 mm (INEGI, 2003).

Sitio de estudio.

La pegmatita El Muerto se ubica al SW de la presa Matías Romero (Fig. 5), y forma parte de terrenos del Municipio de San Pablo Huitzo, Distrito de ETLA, Oaxaca. El área de estudio se localiza entre las coordenadas geográficas de 17° 14' N y 96° 57' W (Morales, 1999).

Fig. 5.- Vista general de la presa de Huitzo "Matías Romero"



Fig. 6.- Mapa del complejo Oaxaqueño. Tomado de Morales. 1999.

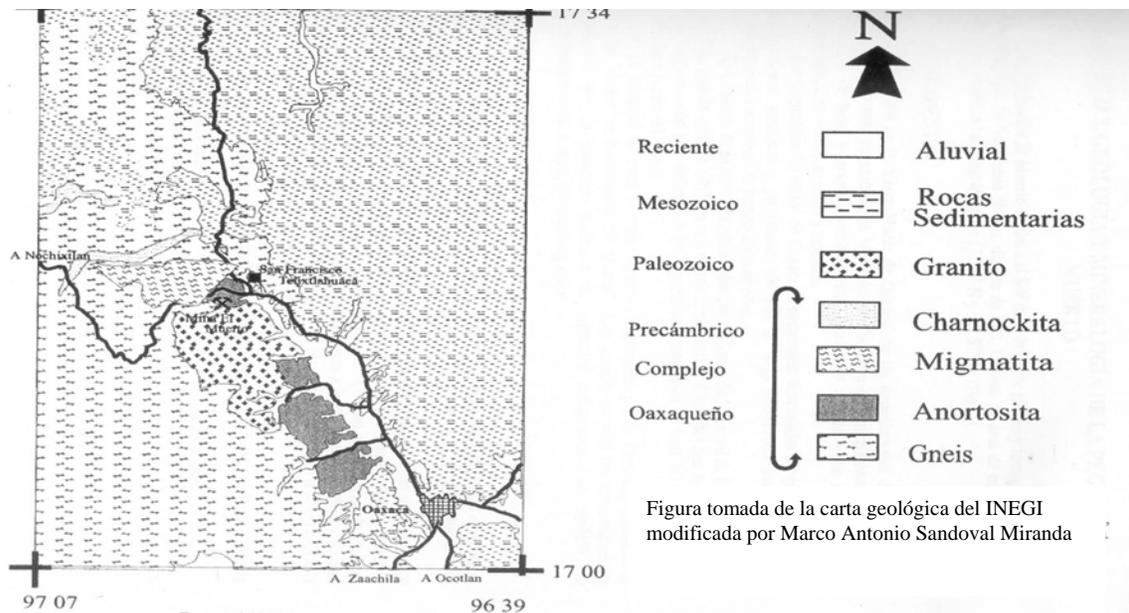


Tabla 8.- Datos del Municipio San Pablo Huitzo.

Municipio:	San Pablo Huitzo
Población total al 2000:	5066 (habitantes)
Población masculina	2383 (habitantes)
Población femenina	2683 (habitantes)
Superficie	107 (Km ²):

Minería del Lugar.

Minerales primarios del suelo

A los componentes inorgánicos de los suelos se les agrupa en minerales primarios (aquellos que no han sufrido cambios químicos desde su formación inicial) que se acumulan principalmente en las fracciones de arena y limo y en minerales secundarios (aquellos que resultan de la descomposición de los minerales primarios y recombinación de los productos) y predominan en las arcillas. Al desarrollarse los suelos, generalmente ocurre un enriquecimiento de materia orgánica y la pérdida de los elementos químicos de mayor solubilidad.

Los silicatos y alumino-silicatos son los principales componentes de la mayor parte de los minerales que constituyen las rocas y muchos suelos. Los minerales son sustancias inorgánicas con composiciones y propiedades características, cada mineral tiene una estructura cristalina y composición propia, pero por el proceso de sustitución isomórfica pueden ser reemplazados algunos elementos químicos por otros de radio iónico similar produciendo variaciones en la composición de los minerales. (Tabla 9)

La meteorización cambia la proporción de los minerales en los suelos y son resistentes a la meteorización el cuarzo (SiO_2), algunos óxidos de hierro y aluminio y la ortoclasa (KAlSi_3O_8)

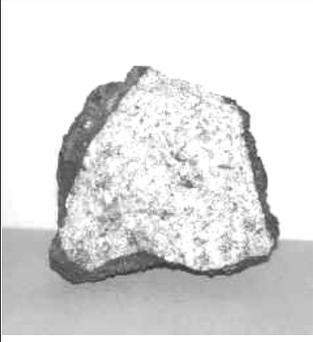
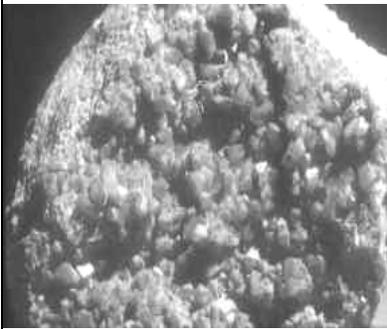
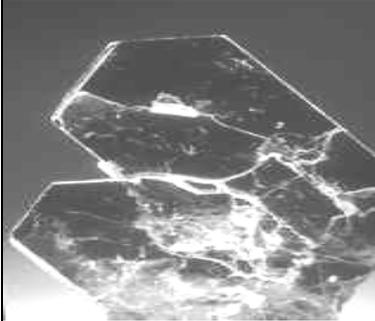
Los silicatos constituyen un amplio grupo de minerales que se encuentran en mayor proporción en las rocas ígneas y en las metamórficas que en las sedimentarias. La mayoría de los silicatos en los suelos es cristalina y su unidad básica se representa por un tetraedro formado por un ion central de silicio y un ion óxido en cada vértice. Electrónicamente cada tetraedro representa la partícula SiO_4^{2-} . Cuando estas cargas se neutralizan con cationes, como en el olivino $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$, se forman minerales que se representan por tetraedros individuales.

Al aumentar el grado de polimerización y al compartir los átomos de silicio más átomos de oxígeno se reduce la relación Si/O de 1:4 a 1:2 para los tectosilicatos que forman una red tridimensional muy estable como en el cuarzo (SiO_2). También cuando se combinan varios átomos de oxígeno con varios átomos de silicio pueden formarse diferentes estructuras representadas por tetraedros dobles, anillos o láminas (Fig. 7).

Tabla 9.- Propiedades de algunos minerales primarios del suelo.

Clase	Estructura	Ejemplo	Fórmula
Nesosilicato	Tetraedros individuales	Olivino	$(Mg, Fe)_2SiO_4$
Sorosilicato	Tetraedros múltiples o dobles	Epidota	$Ca_2(Al, Fe)_3Si_3O_{12}OH$ (tetraedros múltiples)
Ciclosilicato	Anillos de tetraedros, simples o dobles	Berilo	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$
Inosilicato	Silicatos de cadena, simples o dobles	Dópsido	$Ca_2Mg_2Si_4O_{12}(c.simple)$
		Tremulita	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$.(doble)
Filosilicato	Láminas de tetraedros	Biotita	$K(Mg, Fe)_3(Si, Al)O_{10}(OH)_2$
Tectosilicato	Tridimensional	Leucita	$KAlSi_2O_6$

Fig. 7.- Fotografías de los minerales primarios del suelo.

		
Tremolita	Epidota	Berilo azul
		
Olivino	Biotita	Leucita

En los minerales primarios además de los silicatos hay otros minerales como los óxidos y los carbonatos y otros que se presentan en pequeñas cantidades en la composición de las rocas

como los fosfatos y los sulfuros. Los carbonatos son importantes porque forman suelos de buena fertilidad.

La distribución de los minerales primarios en las rocas depende de la naturaleza química y de las condiciones de formación de las rocas.

Los minerales más comunes en los silicatos ácidos son el cuarzo, los feldespatos y moscovita, y en menor proporción la biotita, las plagioclasas y los anfíboles. Los feldespatos potásicos, como la ortoclasa, son característicos de las rocas ígneas ácidas y los feldespatos ricos en sodio y calcio, como las plagioclasas, lo son de las rocas básicas.

Antecedentes de la mina El Muerto.

La Comisión de Energía Nuclear (en 1952) realizó exploraciones en las pegmatitas de Oaxaca, siendo la pegmatita El Muerto la más importante con respecto a minerales radiactivos.

La pegmatita El Muerto se localiza al noreste de la ciudad de Oaxaca y se ubica dentro del Complejo Oaxaqueño el cual forma parte de la provincia fisiográfica conocida como "Sierra Madre de Oaxaca" y ocupa la región central del estado de Oaxaca, se extiende desde los límites del sur del estado de Puebla hasta el norte de Pochutla y es el más viejo de los diferentes terrenos cristalinos al sur de México; el Ing. A. Martínez en 1952 encontró minerales radiactivos en la pegmatita Inutuchi en el área de Telixtlahuaca, lo cual originó la exploración de esos minerales (Morales, 1999).

La pegmatita el Muerto es la más grande, y se distinguió por la abundancia de minerales de U (los cuales han sido altamente explotados) y tierras raras. Este cuerpo, no solamente fue económicamente explotable por su contenido exclusivo de minerales radiactivos sino también por subproductos como: feldespatos y micas.

Dicha Comisión continuó con las escasas exploraciones iniciadas con anterioridad y ejecutó trabajos de obras de mina, los cuales consistieron en la apertura de cinco socavones numerados del uno al cinco. Con estas obras de carácter exhaustivo, se ha explorado perfectamente a la pegmatita El Muerto.

Además con estos trabajos se ha puesto a la vista un considerable tonelaje de feldespatos de excelente calidad, cuyo valor ha compensado el monto de la inversión hecha en las exploraciones de los minerales radiactivos. Tiene pocos minerales radiactivos económicos, siendo el principal la uranita (la *pechblenda* es una de sus formas), un óxido de composición aproximada UO_2 . La comisión de Energía Nuclear (1952) ha extraído de El Muerto minerales de torio y uranio, principalmente: betafita y alanita y en menor cantidad, pechblenda, urano-torita, autunita y monacita (Morales, 1999).

Separación de minerales

Fundamentos Teóricos:

Separación Magnética

El caso más obvio de separación magnética es el de las magnetitas ferromagnéticas; además se sabe que otros minerales de hierro pueden ser alterados químicamente para convertirlos a magnetitas.

Esto usualmente se hace a través de la tostación magnetizante, la cual involucra una atmósfera controlada para convertir hasta la última parte del mineral a magnetita. Otra posible manera de obtener la misma condición, la cual comúnmente se usa y sugiere para el tratamiento de algunos minerales de carbonatos, es atacar la mena con hidróxido de sodio para transformar el hierro a hidróxido ferroso, el cual puede entonces oxidarse alrededor de 50°C a magnetita. Aparte de la magnetita sólo la pirrotita, un sulfuro níquelífero de hierro, se atrae a un imán de barra.

Las propiedades magnéticas con respecto a la temperatura de las sustancias fueron estudiadas por Pierre Curie, quien estableció que la susceptibilidad magnética de las sustancias paramagnéticas depende del inverso de la temperatura. En todos los ferromagnetos encontró un descenso de la magnetización hasta que la temperatura llegaba a un valor crítico, llamada temperatura de Curie (T_c), donde la magnetización se hace igual a cero, arriba de la temperatura de Curie, los ferromagnetos se comportan como sustancias paramagnéticas. También existen otros ordenamientos magnéticos (antiferromagnético y ferrimagnético: figura 8)

Los materiales diamagnéticos están caracterizados por susceptibilidades magnéticas negativas, lo que significa, que la imantación inducida en ellos está orientada en sentido opuesto con respecto al campo externo aplicado. Las susceptibilidades magnéticas de la mayoría de los materiales diamagnéticos no dependen de la temperatura. El diamagnetismo se basa en el movimiento de un electrón alrededor de su núcleo generando una corriente de poca intensidad. El momento magnético (o espín) es un vector, que en presencia de un campo magnético externo toma un movimiento de precesión alrededor de este campo externo. Este movimiento periódico adicional del electrón produce un momento magnético orientado en sentido opuesto con respecto al campo aplicado. El diamagnetismo puro sólo aparece si los momentos magnéticos de los átomos son nulos en ausencia de un campo exterior como en los átomos o iones que poseen capas electrónicas completas.

Los materiales ferromagnéticos tienen susceptibilidades positivas y relativamente altas. Sin aplicar un campo magnético externo la interacción de los momentos magnéticos de sus átomos resulta en un comportamiento colectivo de grupos de átomos, llamados dominios. En los elementos hierro, cobalto y níquel esta interacción es característica para los espines no compensados de los subpisos 3-d de sus átomos. Estos elementos pueden lograr un estado de imantación espontáneo consistente en la configuración ordenada de los momentos magnéticos de todos los átomos. Aplicando un campo magnético los dominios se alinean en configuraciones paralelas y con sus ejes longitudinales paralelas a la dirección del campo externo de tal modo que generan una susceptibilidad magnética alta. A los cuerpos ferromagnéticos corresponden ciclos de histéresis típicos.

En los materiales antiferromagnéticos los momentos magnéticos de los átomos vecinos son de la misma magnitud, pero antiparalelos. Cada una de estas subredes recuerda un estado de un cuerpo ferromagnético. Las dos subredes ordenadas orientadas en sentido opuesto entre sí se anulan mutuamente resultando en un momento magnético total igual a cero. La susceptibilidad magnética de un material antiferromagnético es relativamente baja a temperaturas debajo del

punto de Curie, sube con la temperatura acercándose a la temperatura de Curie característica para el material en cuestión, alcanza su máximo a la temperatura de Curie y encima de la temperatura de Curie su susceptibilidad decrece. A los materiales antiferromagnéticos pertenecen entre otros la hematita (Fe_2O_3 , $T_{\text{Curie}} = 675^\circ\text{C}$), los óxidos de manganeso, de cobalto y de níquel.

Los materiales ferrimagnéticos tienen dos subredes de iones metálicos con momentos magnéticos orientados antiparalelamente, pero de magnitud diferente dando lugar a un momento resultante desigual a cero, incluso en ausencia de un campo exterior. La magnetita Fe_3O_4 es un material ferrimagnético y el mineral más importante en contribuir al magnetismo de las rocas. Otros minerales ferrimagnéticos son la ilmenita FeTiO_3 , Titanomagnetita $\text{Fe}(\text{Fe}, \text{Ti})_2\text{O}_4$, la pirotina Fe_{1-X}S y los óxidos de la fórmula general XFe_2O_3 , donde X puede ser ocupado por Mn, Co, Ni, Mg, Zn y Cd.

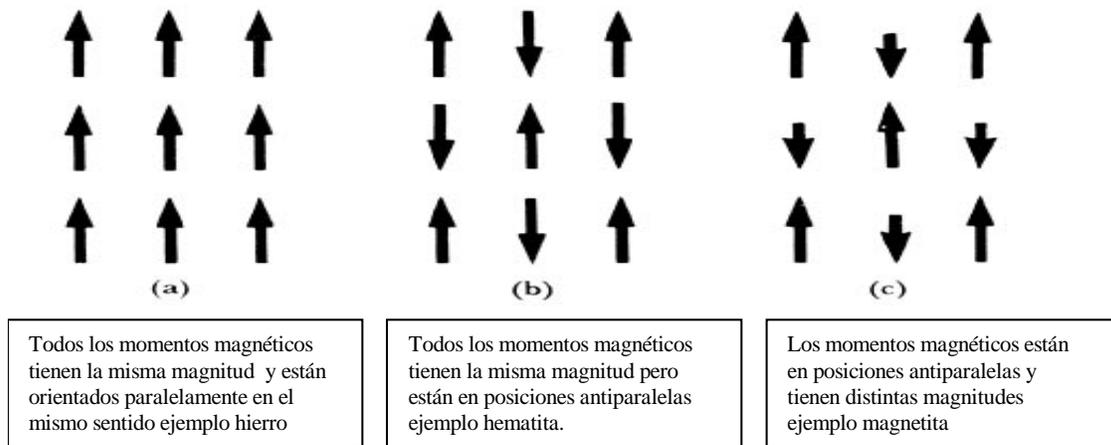


Figura 8. Modelos para materiales magnéticos: (a) Ferromagneto. b) Antiferromagneto. (c) Ferrimagneto.

La separación magnética puede ser efectuada por campos de baja intensidad de 5 a 200 Gauss, o campos de alta intensidad de hasta 22 000 Gauss. Los primeros se usan sólo con magnetita y los últimos para todos los demás minerales.

La separación magnética en seco da una separación más completa de materiales magnéticos a partir de los que no son magnéticos, pero cuando la mena ha sido molida en húmedo este tipo de tratamiento es poco redituable, porque se necesita dejar secar la mena con anterioridad a la separación. A tamaños mayores a 5 mm. La separación magnética en seco será la regla, y a partículas inferiores a 150 micrómetros la húmeda, siendo motivo de elección los tamaños intermedios. Los campos magnéticos pueden ser obtenidos usando imanes permanentes o electroimanes, los últimos son para los campos más intensos o donde podría ser más ventajoso variar la intensidad de campo magnético.

Cuando una mezcla de partículas magnéticas y no magnéticas se transporta a través de un campo magnético, las partículas magnéticas tienden a permanecer en el campo, mientras que las otras lo atraviesan. Los separadores magnéticos proveen simplemente dos rutas: un comportamiento gravitacional para partículas no magnéticas, y un magnético para el material magnético. Si es necesario la intensidad del campo magnético puede disminuirse por etapas, para hacer posible la separación de minerales progresivamente más débiles en susceptibilidad magnética.

Cuando diversos imanes se montan en línea, la polaridad aplicada al mineral se va alternando, esto para que las partículas del mineral magnético giren liberando a cualquier partícula no magnética que esté atrapada entre las magnéticas.

Los separadores magnéticos ya sea en húmedo o en seco, pueden trabajar eficientemente si y sólo si el material alimentado se procesa en forma de una capa más bien delgada de sólo unas cuantas partículas de profundidad.

Consecuentemente el diseño de plantas de alta capacidad, para uso de material fino a costo razonable, raramente es practicable. Usualmente actúan fuerzas centrífugas, gravitacionales y de fricción en conjunción con la fuerza magnética del campo.

Las substancias paramagnéticas se atraen hacia regiones de mayor densidad de flujo en un campo magnético, mientras que las diamagnéticas se repelen. En un campo uniforme las partículas diamagnéticas se repelen. En un campo uniforme una partícula ferromagnética se auto-orienta, pero no se mueve a lo largo del campo. En consecuencia los campos magnéticos no deben ser uniformes en los separadores magnéticos y debido al tipo y el movimiento de las partículas que interaccionan con el mismo, puede ser recomendable que sean catadinámicos, isodinámicos o anadinámicos.

Desde luego la fuerza magnética actuante en una partícula paramagnética es proporcional al campo, a la susceptibilidad magnética y al gradiente magnético. Entonces las variables principales son: El campo ajustado por medio de un reóstato, tamaño, forma de imanes y su ubicación especial, distribución de tamaños de la mena y grados de liberación, cantidad de agua de lavado y el por ciento de sólidos alimentados y ley o contenido magnético.

Tomando en cuenta lo anterior, la técnica de separación magnética es la técnica para separar materiales magnéticos de los no magnéticos. Para lograrlo se utiliza la fuerza para producir la diferencia de movimiento en la mezcla de sólidos pasando a través del campo magnético. (Figura 9) En la figura 9 se representan las partículas magnéticas en negro, y las no magnéticas en blanco, la separación de las partículas, es debida a que las partículas magnéticas, queden adheridas más tiempo en la banda que las no magnéticas.

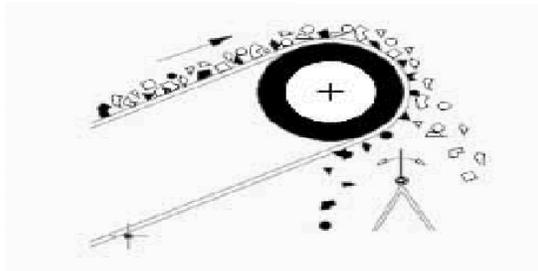


Figura 9.-principio de separación magnética



Figura 10.-separador magnético de tambor

La potencia del campo magnético es expresada en densidad de flujo por unidad de área o sección normal a la dirección del flujo. Cada tipo de separadores magnéticos se basa en diferentes tipos de modelos de campo, el cual se refiere al uso del separador, la potencia que se usa es alta, media y baja. El campo producido por el imán puede tener una variación de intensidad. La partícula permeable en este campo variante se mueve hacia el punto de más alta intensidad. Los separadores magnéticos son comúnmente fabricados para usar la susceptibilidad magnética de los minerales aún con pequeñas variaciones en su grado magnético

CAPITULO III:

DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Material y equipo

Material usado para muestreo.

- 1.- Bolsas de plástico.
- 2.- Guantes de plástico y carnaza
- 3.- Cubre bocas.
- 4.- Lámparas sordas.
- 5.- GPS (posicionador global por satélite)
- 6.- Marcador de tinta indeleble.
- 7.- Pala, pico y cincel de acero.
- 8.- Costales de yute.
- 9.- Toallas de papel
- 10.- Cuaderno para anotaciones.
- 12.- Masking Tape.
- 13.- Bolígrafo color negro.
- 14.- Cámara fotográfica.

Material usado en el laboratorio.

1. Trituradora de quijadas.
2. Molino de bolas Diámetro del molino =20.5cm Altura del molino = 14.7cm. volumen = 4851.93 cm³)
3. Tamices de diferentes medidas
4. Separadores físicos
5. Filtrador al vacío
6. Mortero de acero.
7. Mortero de ágata.
8. Detector de yoduro de sodio activado con Talio
9. Espátula.
10. Tollas papel
11. Papel Filtro
12. Balanza analítica.

Muestreo en campo.

Para la toma de muestra, se seleccionaron varias zonas de la mina, (la parte de fuera de la mina Fig. 11, entrada de la mina, (Fig. 12). Incluyendo varias zonas dentro de la galera (Fig. 13)) para tener una muestra compuesta de las diferentes zonas en la mina.



Fig. 11 .-Material fuera de la mina



Fig. 12.- Entrada lateral a la Mina

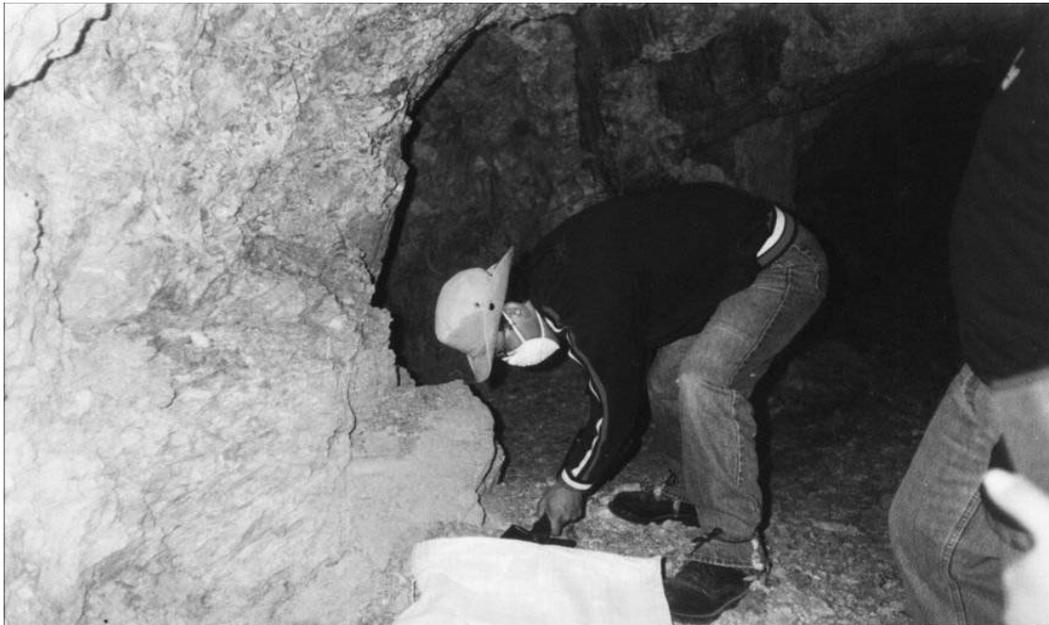


Fig. 13 .- Interior de la Mina.

Preparación de muestras

- Se tomaron muestras puntuales del mineral, para enviar a análisis y se preparó una muestra de mineral (50 Kg. de muestra compuesta), se cuarteo hasta tener una porción de la muestra representativa (Fig. 14), para triturlarla y molerla hasta obtener el tamaño de malla -150 y poder hacerle un análisis por ICP (plasma acoplado inductivamente), DRx (difracción de rayos X) y FRx (fluorescencia de rayos X), conteo de bajo fondo, para cuantificar el contenido de Th que se tiene de llegada (Ley).
- A otra porción del mineral de llegada de la muestra compuesta, se le hizo un análisis granulométrico empleando una serie de cribas y el rot tap Fig. 15 y 16.
- A cada una de las fracciones se le realizó un conteo radiactivo, para ver en cuál fracción se tiene una mayor retención del material de interés (principalmente torio Th para este caso).
- El mineral recolectado de la mina se cuarteo en varias partes, una parte fue triturado y molido con un molino hasta diferentes tamaños para las pruebas. En donde la señal de Th dio mas alto.
- Después de la molienda, se introdujo el material a diferentes procesos de separación. Magnético, mesa wilfley, pulsadora, elutreador.
- El análisis de radiación de cada una de las partes separadas, se llevó a cabo en un contador de centelleo de yoduro de sodio de 2x2 activado con talio, en un recipiente "Marinelli" de aluminio.
- Se presenta un diagrama de flujo de trabajo para la separación inicial del mineral de prueba

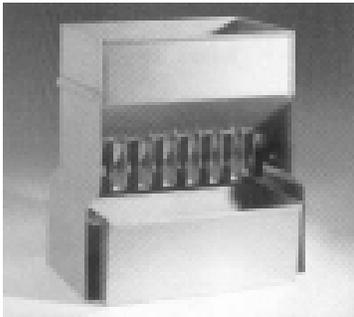


Fig. 14.- Cuarteador

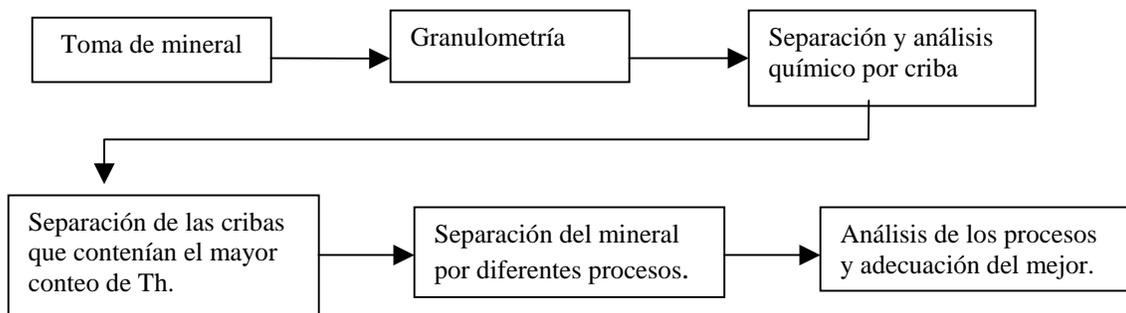


Fig. 15.- Rot tap



Fig.16.-Cribas de acero inoxidable

Diagrama de flujo de trabajo (general).



CAPITULO IV

Resultados

Tabla 10.- Resultados de análisis de Th varias tomas puntuales de la mina. Análisis realizado por Fluorescencia de Rx.

	punto 1	punto 2	punto 3	punto 4	punto 5	punto 6	punto 7	punto 8	punto 9
ThO ₂ % peso	0.92	3.38	1.2	3.02	0.08	4.03	1.7	1.97	0.09
Th ppm	5	13256	4583	12261	1303	15374	4767	5198	455

Tabla 11 Resultado del análisis a la muestra compuesta en porcentaje (% metal), se hizo un análisis por duplicado para ver repetibilidad. Análisis realizado por ICP.

Muestra	Cr %	Co %	Cu %	Mg %	Mn %	Mo %	Ni %	Pb %	Ti %	V %	Zn %
1	0.0018	0.0008	0.0019	0.1871	0.0343	0.0011	0.0005	0.0035	0.1704	0.005	0.0029
2	0.0007	0.0007	0.0023	0.1083	0.0394	0.0000	0.0006	0.0051	0.0568	0.0058	0.0108

Muestra	As %	Th %	U %	Ca %	Fe %
1	0.0089	0.0517	0.0113	0.15	2.6914
2	0.0112	0.0443	0.0209	0.2111	2.8143

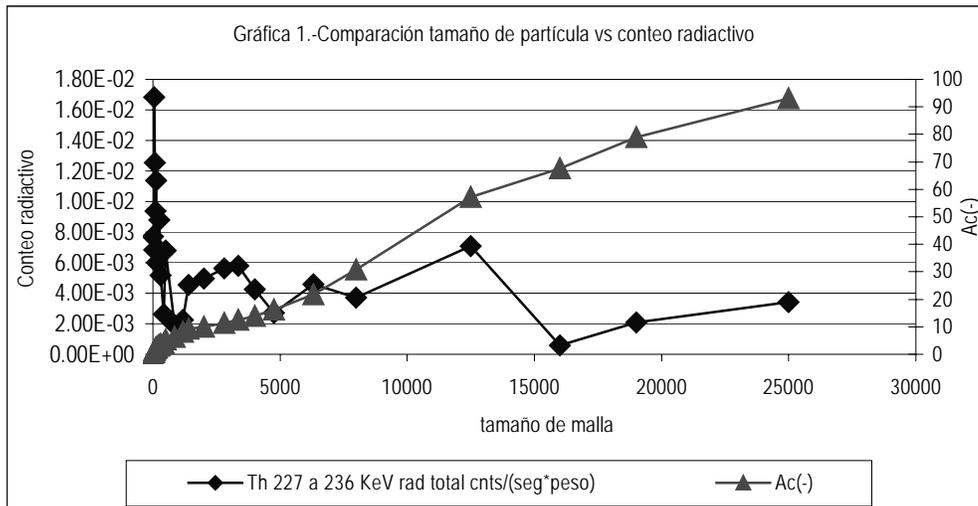
A continuación se presentan los resultados de la separación por cribas, esta separación se hizo por duplicado con objeto de comprobar la repetibilidad. El conteo inicial radiactivo para torio se hizo a cada una de las partes separadas a dos diferentes longitudes, (llamadas KeV). Para el análisis por centelleo de todas las partes separadas se usaron por lo menos dos diferentes longitudes, las cuales se presentan junto con la prueba realizada al mineral. Las longitudes pueden ser: 236.00 KeV, 256.25 KeV, 286.15 KeV, 210.65 KeV para garantizar la presencia del radioisótopo de interés.

Los resultados están referenciados a la separación por tamaño de partícula, para ver en cual tamaño de partícula se podía retener una mayor concentración de Th y así poder hacer una separación mas eficiente.

El contenido de Th es proporcional a la radiación total, esto se calcula como la aportación del conteo radiactivo, dividido por el peso aportado de cada parte separada y multiplicado por el tiempo de exposición al contador de centelleo. Esto se hace para las longitudes y las separaciones efectuadas a cada parte del mineral.

Tabla 12.- resultados, conteo de radiación de Th227 a (256 KeV y 236 KeV y tamaño de partícula

Tamaño de malla comercial	Tamaño de malla en micrómetros	Peso (g)	Rad Th-227 a 236.00 KeV	Rad Th-227 a 256.25 KeV	Segundos	Th 227 a 236.00 KeV rad total cnts/(seg*peso)	Th 227 a 256.25 KeV rad total cnts/(seg*peso)	Ac(-)
1	25000	50	1701	1567	10000	3.4020E-03	3.1340E-03	93.11
3/4	19000	102.8	2130	1844	10000	2.0720E-03	1.7938E-03	78.93
5/8	16000	81.9	461	448	10000	5.6288E-04	5.4701E-04	67.64
1/2	12500	75.5	5345	5992	10000	7.0795E-03	7.9364E-03	57.23
5/16	8000	192	7155	8196	10000	3.7266E-03	4.2688E-03	30.76
1/4	6300	65.5	3008	3743	10000	4.5924E-03	5.7145E-03	21.73
4	4750	39.4	1062	1445	10000	2.6954E-03	3.6675E-03	16.30
5	4000	17.7	750	978	10000	4.2373E-03	5.5254E-03	13.86
6	3350	9.8	568	711	10000	5.7959E-03	7.2551E-03	12.51
7	2800	8.1	455	520	10000	5.6173E-03	6.4198E-03	11.39
10	2000	9.8	484	621	10000	4.9388E-03	6.3367E-03	10.04
14	1400	5.2	237	382	10000	4.5577E-03	7.3462E-03	9.32
16	1180	8	181	149	10000	2.2625E-03	1.8625E-03	8.22
20	850	15	287	299	10000	1.9133E-03	1.9933E-03	6.15
35	500	5.3	360	437	10000	6.7925E-03	8.2453E-03	5.42
40	425	10.2	268	229	10000	2.6275E-03	2.2451E-03	4.01
50	300	5.8	300	264	10000	5.1724E-03	4.5517E-03	3.61
60	250	2.2	193	184	10000	8.7727E-03	8.3636E-03	3.31
70	212	2.5	173	217	10000	6.9200E-03	8.6800E-03	2.96
100	150	2.9	174	246	10000	6.0000E-03	8.4828E-03	2.56
120	125	1.1	125	158	10000	1.1364E-02	1.4364E-02	2.27
140	106	1.6	150	142	10000	9.3750E-03	8.8750E-03	2.05
200	75	1.8	226	245	10000	1.2556E-02	1.3611E-02	1.67
250	58	1.1	185	214	10000	1.6818E-02	1.9455E-02	1.38
325	45	4.8	164	177	5000	6.8333E-03	7.3750E-03	0.72
pan	0	5.2	8010	10361	200000	7.7019E-03	9.9625E-03	0.00



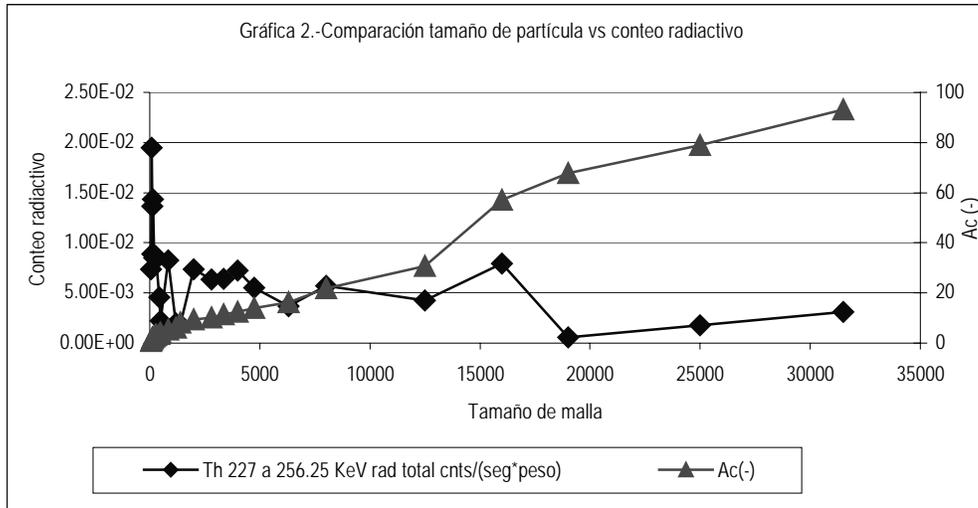
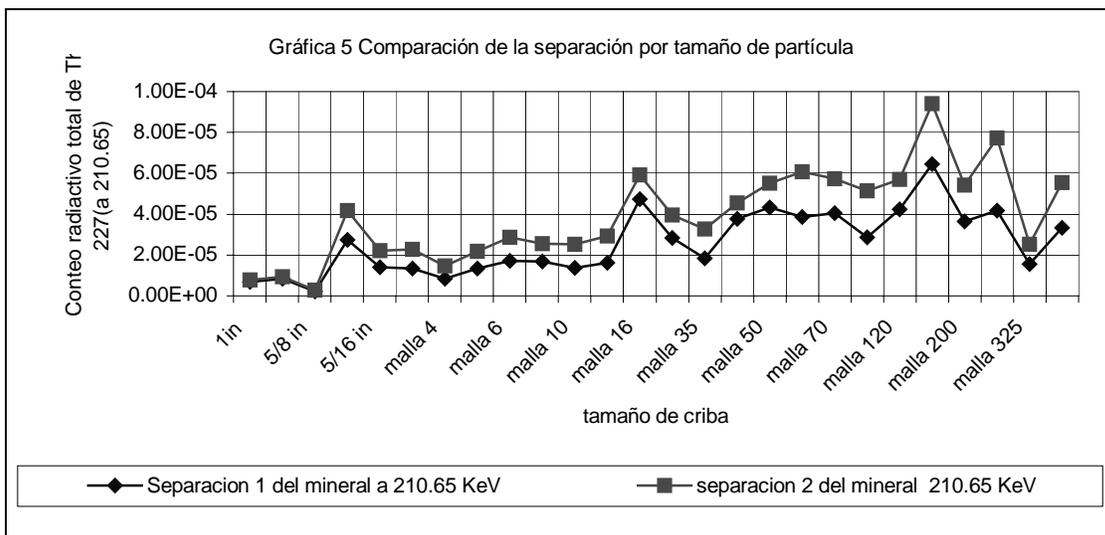
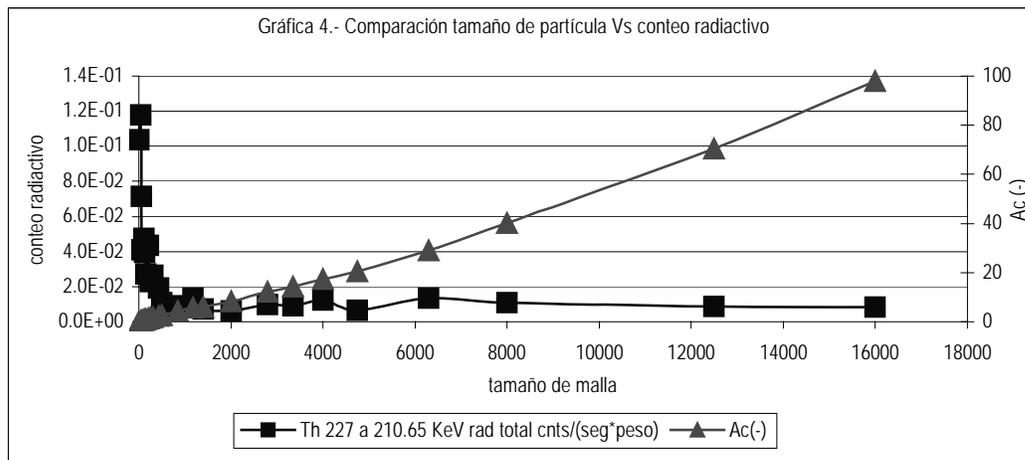
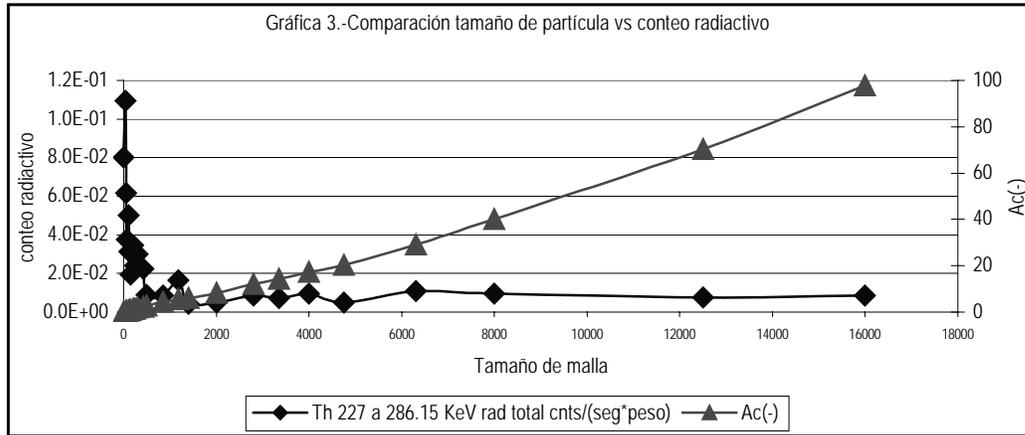


Tabla 13.- resultados, conteo de radiación de Th227 a (286.15 KeV y 210.65 KeV) y tamaño de partícula.

Tamaño de malla comercial	Tamaño en micrómetros	Peso (g)	Rad Th-227 a 286.15	Rad Th-227 a 210.65	segundos	Th 227 a 286.15 KeV rad total cnts/(seg*peso)	Th 227 a 210.65 KeV rad total cnts/(seg*peso)	Ac(-)
5/8	16000	5.3	461	448	10000	8.6981E-03	8.4528E-03	97.8952
1/2	12500	69.3	5345	5992	10000	7.7128E-03	8.6465E-03	70.3733
5/16	8000	76.1	7155	8196	10000	9.4021E-03	1.0770E-02	40.1509
1/4	6300	27.8	3008	3743	10000	1.0820E-02	1.3464E-02	29.1104
4	4750	21.9	1062	1445	10000	4.8493E-03	6.5982E-03	20.4130
5	4000	7.9	750	978	10000	9.4937E-03	1.2380E-02	17.2756
6	3350	7.7	568	711	10000	7.3766E-03	9.2338E-03	14.2176
7	2800	5.4	455	520	10000	8.4259E-03	9.6296E-03	12.0731
10	2000	9.8	484	621	10000	4.9388E-03	6.3367E-03	8.1811
14	1400	5.4	237	382	10000	4.3889E-03	7.0741E-03	6.0365
16	1180	1.1	181	149	10000	1.6455E-02	1.3545E-02	5.5997
20	850	3.3	287	299	10000	8.6970E-03	9.0606E-03	4.2891
35	500	4	360	437	10000	9.0000E-03	1.0925E-02	2.7006
40	425	1.2	268	229	10000	2.2333E-02	1.9083E-02	2.2240
50	300	1	300	264	10000	3.0000E-02	2.6400E-02	1.8268
60	250	0.8	193	184	10000	2.4125E-02	2.3000E-02	1.5091
70	212	0.5	173	217	10000	3.4600E-02	4.3400E-02	1.3106
100	150	0.9	174	246	10000	1.9333E-02	2.7333E-02	0.9531
120	125	0.4	125	158	10000	3.1250E-02	3.9500E-02	0.7943
140	106	0.3	150	142	10000	5.0000E-02	4.7333E-02	0.6751
200	75	0.6	226	245	10000	3.7667E-02	4.0833E-02	0.4369
250	58	0.3	185	214	10000	6.1667E-02	7.1333E-02	0.3177
325	45	0.3	164	177	5000	1.0933E-01	1.1800E-01	0.1986
Pan	0	0.5	8010	10361	200000	8.0100E-02	1.0361E-01	0.0000



El conteo radiactivo con mayor valor en el mineral se presenta en las partículas más pequeñas. Las siguientes pruebas, se realizan con el mineral a un tamaño de malla a partir de -60 hasta pan

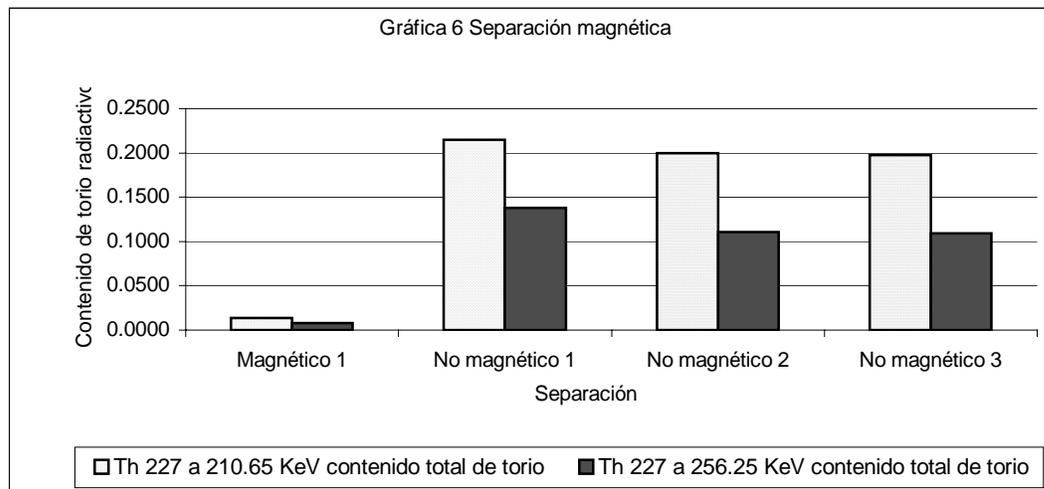
Para la separación magnética, se realizó en húmedo con tamaño de partícula -60 se hicieron 3 pruebas, la primera prueba se utilizó como testigo para verificar en que parte se encontraba una mayor concentración de torio, en la parte magnética o no magnética. Para la segunda y tercera prueba se utilizó solo la parte no magnética donde se encontró que se tenía mayor contenido de torio. Esta separación se hizo a 200 Gauss en húmedo con tamaño de partícula -60. Donde se hizo a cada parte de la separación magnética un análisis por centelleo.

El contenido de Th es proporcional a la radiación total, esto es, la aportación del conteo radiactivo, dividido por el peso aportado de cada parte separada y multiplicado por el tiempo de exposición al contador de centelleo.

A continuación se presentan los resultados de la separación magnética.

Tabla 14.- SEPARACIÓN MAGNÉTICA.

	Th 227 a 210.65 KeV	Th 227 a 256.25 KeV	segundos	peso de mineral (g)	Contenido total de torio Th 227 a 210.65 KeV	Contenido total de torio Th 227 a 256.25 KeV
Magnético 1	4782	2893	10000	35.8	0.0134	0.0081
No magnético 1	74253	47623	10000	34.6	0.2146	0.1376
No magnético 2	76395	42271	10000	38.3	0.1997	0.1105
No magnético 3	72050	39787	10000	36.5	0.1975	0.1090



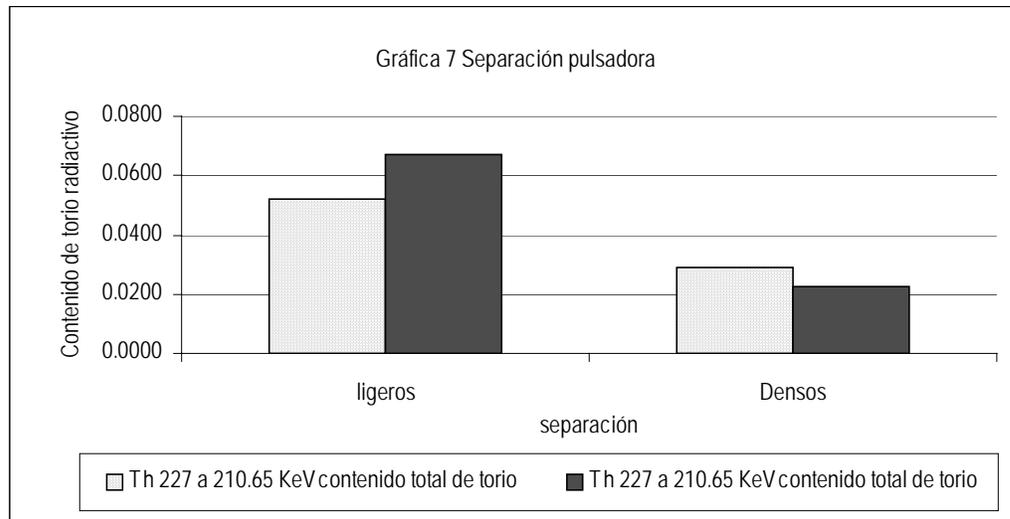
Para la prueba del pulsador Jigs, se realizó en húmedo con tamaño de partícula -60 se hicieron 2 pruebas de concentración para repetibilidad en el proceso. Se efectuó a cada parte de la separación de ligeros y densos un análisis por centelleo.

Equipo utilizado pulsador Jigs marca Denver modelo 54 05 09 con motor clase B a 60Hz con máximo 1140 rpm potencia de ¼ de HP la carga utilizada fue de ¾ con malla fina.

El contenido de Th es proporcional a la radiación total, esto es, la aportación del conteo radiactivo, dividido por el peso aportado de cada parte separada y multiplicado por el tiempo de exposición al contador de centelleo.

Tabla 15.- PULSADORA JIGS

	Th 227 rad a 210.65 KeV	Th 227 rad a 256.25 KeV	segundos	peso de mineral (g)	Th 227 a 210.65 KeV contenido total de torio	Th 227 a 256.25 KeV contenido total de torio
Ligeros	21813	11377	10000	32.5	0.0671	0.0350
Densos	4487	2486	10000	19.7	0.0228	0.0126
Ligeros	21813	11377	10000	32.5	0.0520	0.0350
Densos	5140	2915	10000	17.8	0.0289	0.0164



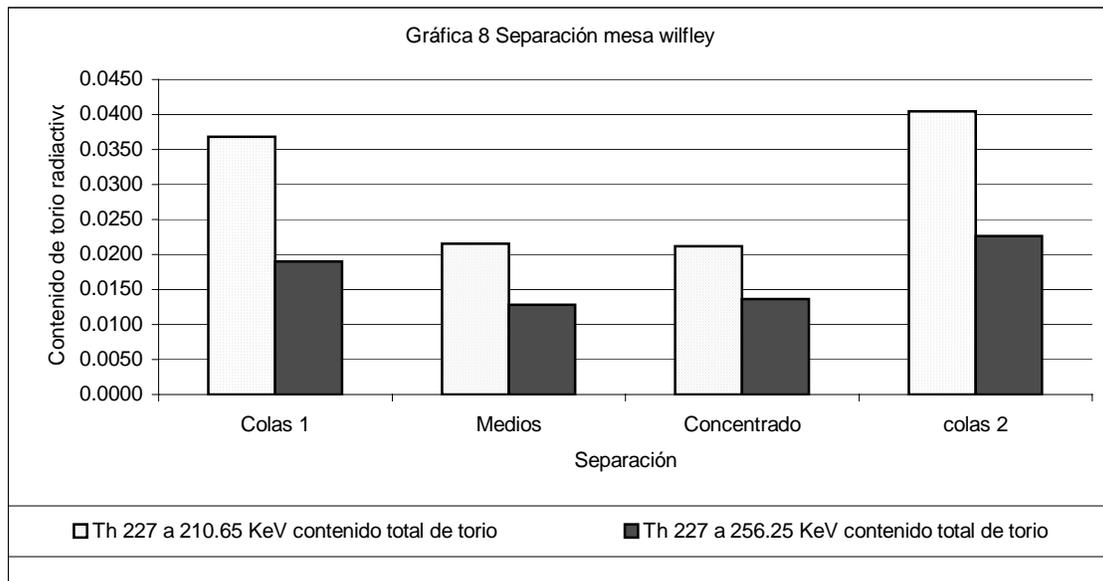
Para la separación por mesa wilfley se hicieron 2 pruebas, en la primera se analizaron las tres partes de la separación y la segunda parte solo se analizó la parte de colas, para verificar la repetibilidad en la primera, la segunda prueba se utilizó más mineral, principalmente para comprobar repetibilidad en las pruebas.

Las condiciones de trabajo fueron 350 rpm a un ángulo de 3° y un flujo de 3.96 Lpm, el tamaño de partícula usado fue de -60

El contenido de Th es proporcional a la radiación total, esto es, la aportación del conteo radiactivo, dividido por el peso aportado de cada parte separada y multiplicado por el tiempo de exposición al contador de centelleo.

Tabla 16.-MESA WILFLEY

	Th 227 rad a 210.65 KeV	Th 227 rad a 256.25 KeV	segundos	peso de mineral (g)	Th 227 a 210.65 KeV contenido total de torio	Th 227 a 256.25 KeV contenido total de torio
Colas1	126	65	600	5.7	0.0368	0.0190
Medios	262	156	600	20.3	0.0215	0.0128
Conc	263	169	600	20.7	0.0212	0.0136
Colas 2	16984	9514	10000	42.0	0.0404	0.0227



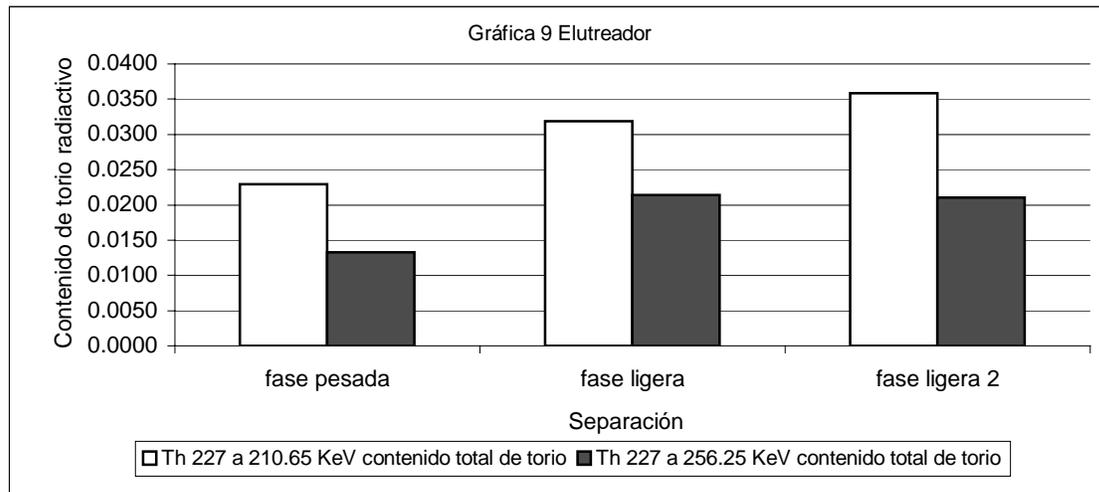
Para la separación por elutreador se hicieron 2 pruebas, en la primera se analizaron las dos fases de la separación y la segunda parte solo se analizó la fase ligera, la segunda prueba se utilizó más mineral, principalmente para comprobar repetibilidad en las pruebas.

La separación se efectuó en 3 columnas, la fase pesada se tomó de la primera columna y la fase ligera de la tercera, a la salida superior, el tamaño de partícula usado fue de -60

El contenido de Th es proporcional a la radiación total, esto es, la aportación del conteo radiactivo, dividido por el peso aportado de cada parte separada y multiplicado por el tiempo de exposición al contador de centelleo.

Tabla 17.- ELUTREADOR

	Th 227 rad a 210.65 KeV	Th 227 rad a 256.25 KeV	segundos	peso de mineral (g)	Th 227 a 210.65 KeV contenido total de torio	Th 227 a 256.25 KeV contenido total de torio
Fase pesada	4656	2691	10000	20.3	0.0229	0.0133
Fase ligera	1020	684	10000	3.2	0.0319	0.0214
Fase ligera 2	5451	3193	10000	15.2	0.0359	0.0210



En la siguiente grafica se presenta la comparación de las diferentes técnicas usadas para la separación, se comparan las muestras que dieron una mayor señal el los foto picos de Th en cada una de las técnicas de separación utilizadas.

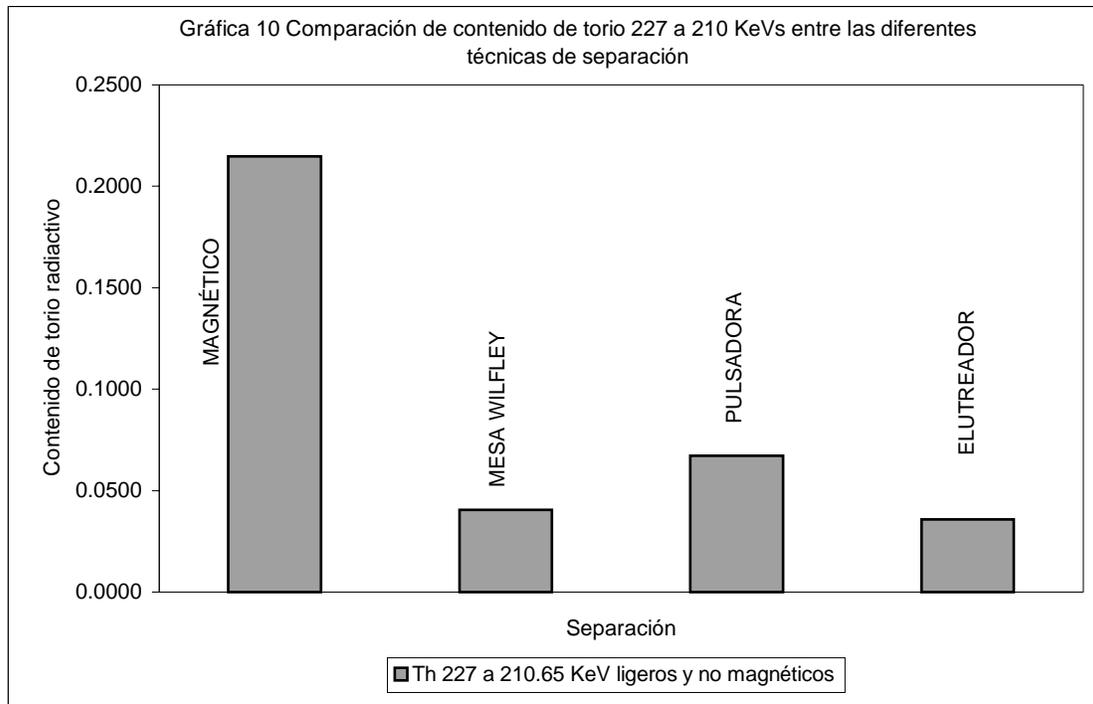


Tabla 18.-Cálculo de Wi del mineral de llegada. Adicionalmente se determina el Wi (índice de trabajo) del material de la mina para futuros proyectos de explotación del mineral.

		Mineral Muestra-1	Mineral Muestra-2	Mineral Muestra-3	Mineral Muestra-4
Masa triturada	gramos	1000	522.2	542.6	537.3
Tiempo	segundos	5.75	3.41	3.35	3.23
Fases del motor	N	3	3	3	3
Ic	Ampere	2	2	2	2
Iv	ampere	1.2	1.2	1.2	1.2
Voltaje de línea	Volts	220	220	220	220
F80	micrones	30846	30846	30846	30846
P80	micrones	13700	13700	13700	13700
Capacidad	ton / hora	0.6260	0.5512	0.5831	0.5988
KW	KW	0.3048	0.3048	0.3048	0.3048
W	KWhora/ton	0.4869	0.5529	0.5228	0.5090
Wi	KWhora/ton	17.0853	19.4032	18.3451	17.8625
Wi Promedio	KWhora/ton	18.1741			

En la gráfica 10 en la comparación de las diferentes técnicas, vemos que los resultados mas elevados de Th se obtuvieron en la separación magnética Se procedió a adecuar (tomando en cuenta el tamaño de partícula) el proceso de separación magnética para la separación del mineral.

- Las muestras se trituraron a varios tamaños de partícula a partir de malla -60 +70
- Se separaron las fracciones en donde se retuvo una mayor cantidad de Th.
- Para adecuar la separación para la muestra, se cambió el tamaño de partícula y el campo magnético utilizado para la separación.
- Se realizo un análisis por ICP para las muestras ya separadas por tamaño y campo magnético, para diferentes metales presentes en la fase magnética de la separación.
- Las muestras se separaron por triplicado con objeto de comprobar la repetibilidad en la separación. Los análisis químicos para todas las pruebas de la separación magnética de esta etapa se hicieron por ICP y contador de centelleo.

Diagrama de flujo para la separación magnética.

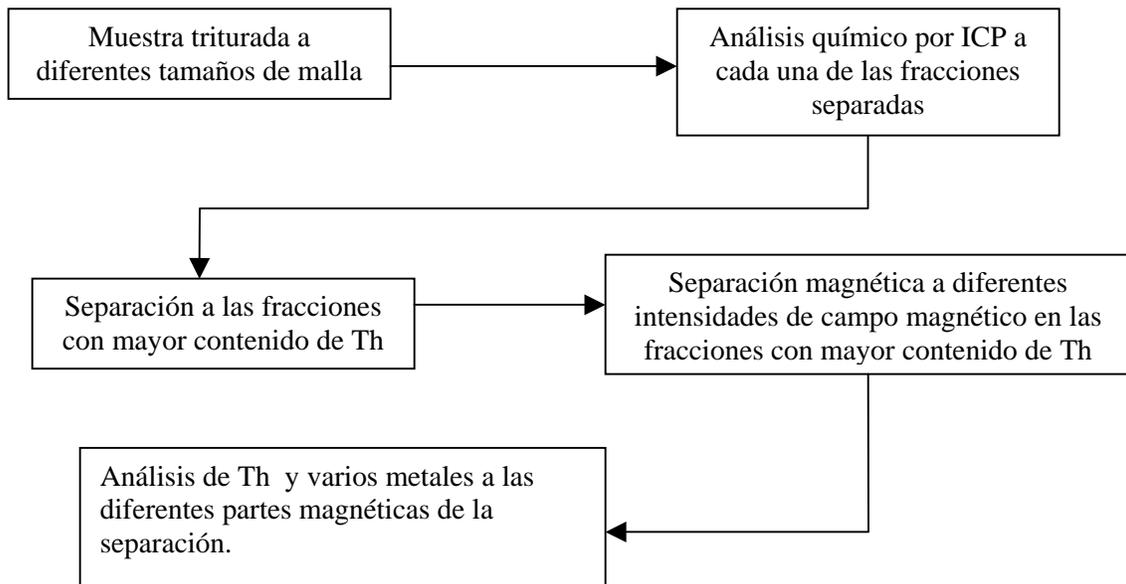


Tabla 19 Resultados de torio en el mineral, separación por mallas. Análisis por ICP. Por triplicado

Tamaño de malla	mg/L	peso g	vol ml	Concentración final de torio 283.730 (g/T)
70				
muestra 1	3.55	0.4664	100.00	760.2559
muestra 2	4.23	0.4940	100.00	855.2632
muestra 3	4.65	0.4513	100.00	1030.3567
Tamaño de malla 100				
muestra 1	6.08	0.4772	100.00	1273.9243
muestra 2	4.80	0.4855	100.00	987.8133
muestra 3	4.16	0.4622	100.00	899.6827
Tamaño de malla 120				
muestra 1	4.37	0.4474	100.00	976.0095
muestra 2	5.42	0.4507	100.00	1201.8342
muestra 3	4.89	0.449	100.00	1089.4581
Tamaño de malla 140				
muestra 1	5.18	0.4455	100.00	1162.5514
muestra 2	6.24	0.453	100.00	1377.8514
muestra 3	6.43	0.4514	100.00	1423.3496
Tamaño de malla 200				
muestra 1	5.05	0.4444	100.00	1135.4260
muestra 2	5.92	0.4495	100.00	1316.2773
muestra 3	5.53	0.4552	100.00	1214.6675
pan				
muestra 1	5.03	0.4518	100.00	1113.1400
muestra 2	6.25	0.4519	100.00	1383.9714
muestra 3	4.52	0.4498	100.00	1005.0763

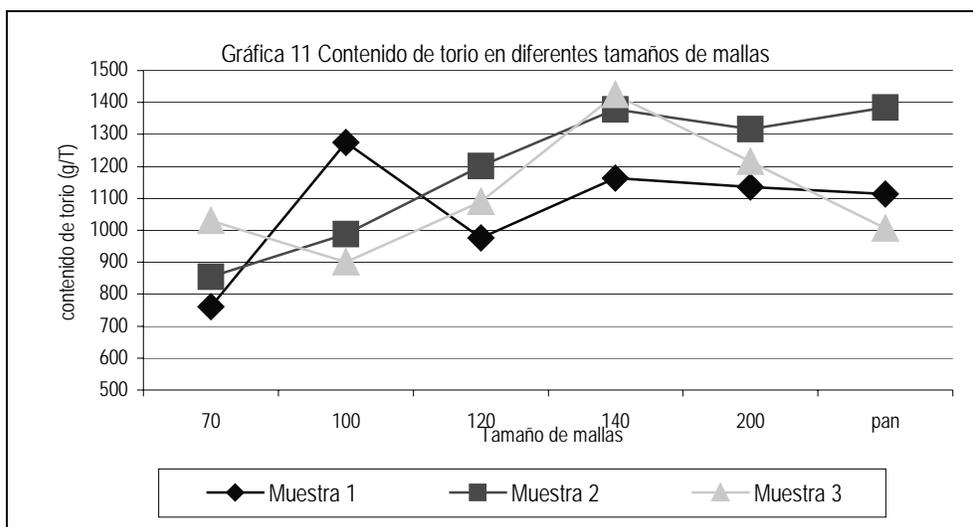


Tabla 20 Promedio de la concentración final de torio 283.730 (g/T)

Tamaño de malla	Promedio de la concentración final de torio 283.730 (g/T)
70	881.959
100	1053.807
120	1088.922
140	1321.251
200	1222.124
pan	1167.396

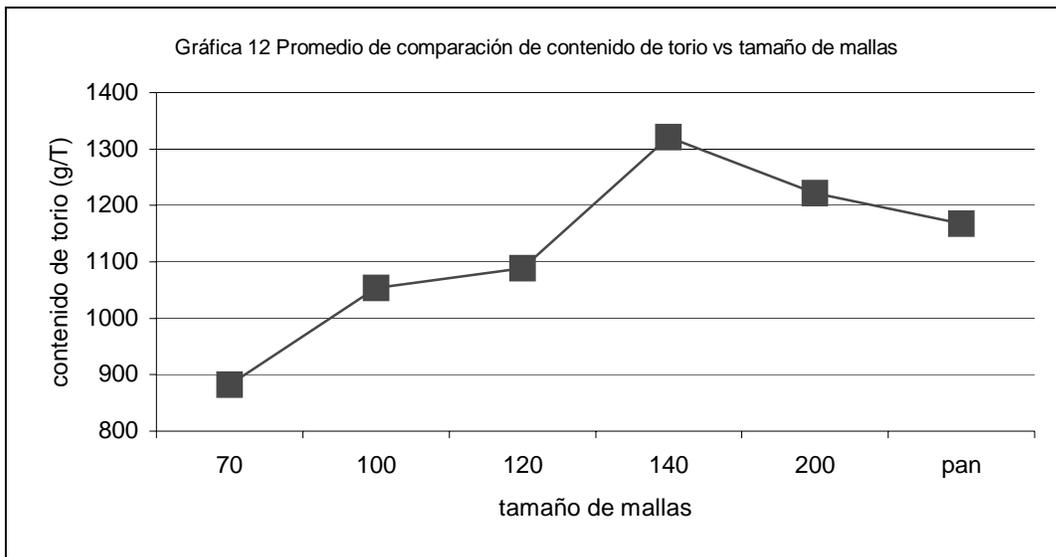


Tabla 21 concentración final de torio 283.730 (g/T) (análisis por ICP)

malla	Intensidad de campo magnético	concentración inicial mg/L	peso g	volumen ml	contenido de torio (g/T)
120	80 gauss	2.813	0.2512	100	1119.82
120	150 gauss	2.126	0.2641	100	805.00
120	220 gauss	0.76	0.1500	100	506.67
120	300gauss	1.826	0.5003	100	364.98
140	80 gauss	3.056	0.2300	100	1328.70
140	150 gauss	1.97	0.2500	100	788.00
140	220 gauss	0.44	0.1500	100	293.33
140	300gauss	1.115	0.5236	100	212.95
200	80 gauss	3.45	0.2500	100	1380.00
200	150 gauss	1.721	0.2500	100	688.40
200	220 gauss	0.556	0.1612	100	344.91
200	300gauss	0.948	0.5182	100	182.94

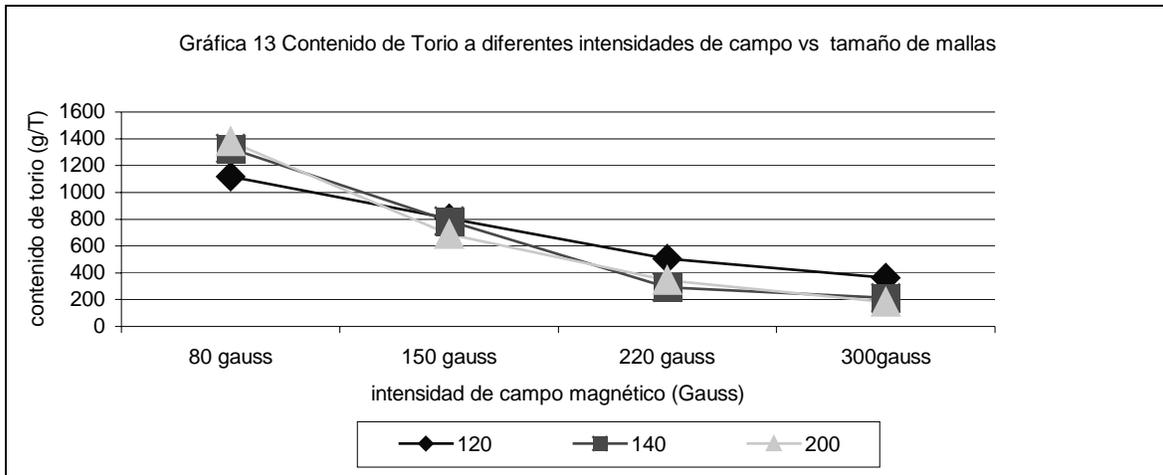
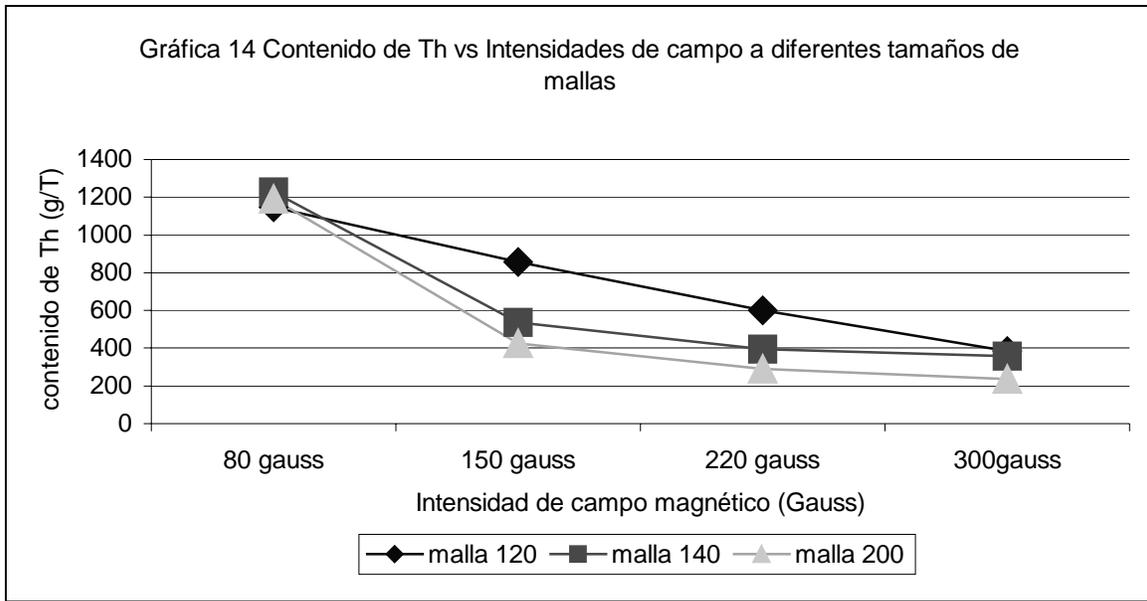


Tabla 22 concentración final de torio (283.730) (g/T) (análisis por ICP).

Tamaño de malla	Intensidad de campo magnético	concentración inicial mg/L	peso g	volumen ml	contenido de torio (g/T)
120-1	80 gauss	1.576	0.1375	100	1146.182
120-2	150 gauss	1.448	0.1692	100	856.000
120-3	220 gauss	0.948	0.1580	100	600.000
120-4	300gauss	1.934	0.5028	100	384.646
140-1	80 gauss	1.774	0.1443	100	1229.383
140-2	150 gauss	0.780	0.1455	100	536.000
140-3	220 gauss	0.584	0.1482	100	394.062
140-4	300gauss	1.814	0.5063	100	358.286
200-1	80 gauss	1.920	0.1612	100	1191.067
200-2	150 gauss	0.666	0.1563	100	426.104
200-3	220 gauss	0.452	0.1562	100	289.373
200-4	300gauss	1.192	0.5039	100	236.555

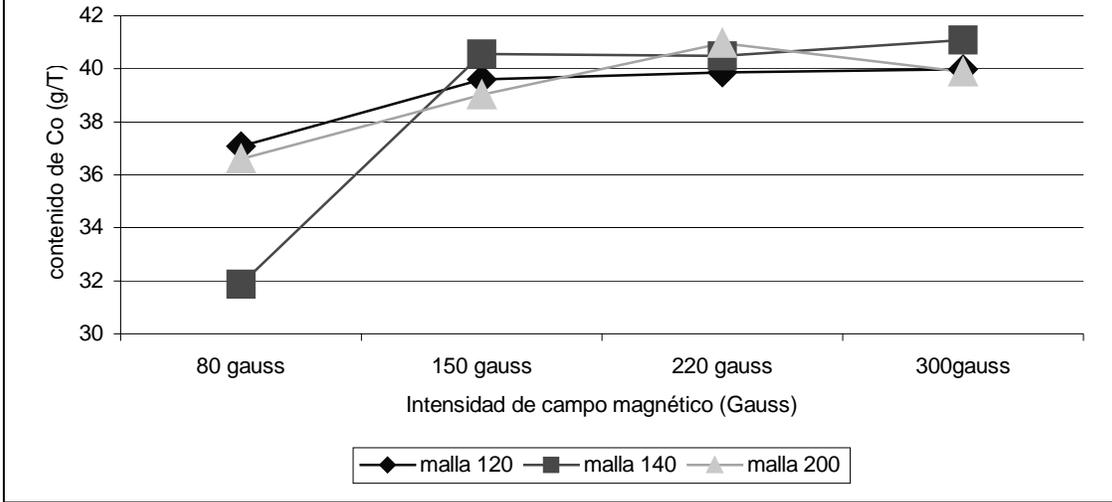


A continuación se presentan los resultados del análisis del mineral, para otros metales en el mineral

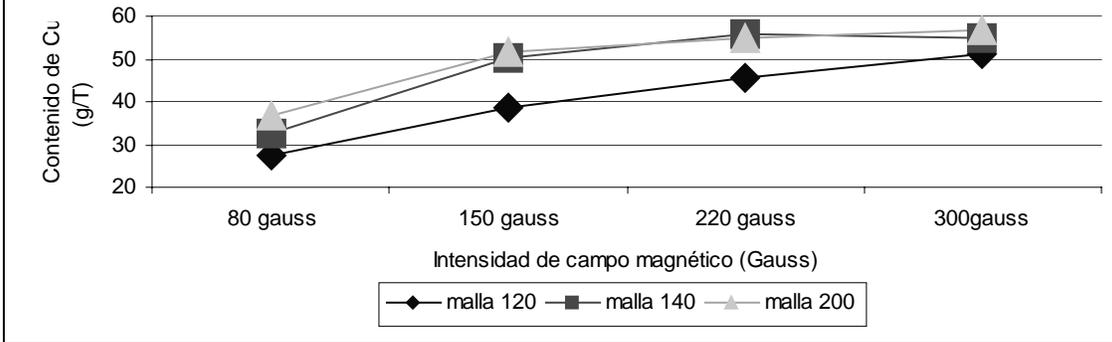
Tabla 23 Otros elementos presentes en el mineral. Análisis por ICP(metal y longitud de onda del elemento medido)

intensidad de campo magnético	tamaño de malla	Co (228.616)	Cr (267.716)	Cu (327.393)	Mn (257.616)	Ni (231.604)	Pb (220.353)	V (290.880)	Zn (206.200)
80 gauss	120-1	37.091	79.273	27.636	705.455	37.091	93.091	723.636	131.636
150 gauss	120-2	39.598	98.700	38.416	735.816	43.735	59.693	916.076	143.617
220 gauss	120-3	39.873	101.266	45.570	742.405	46.203	58.861	937.975	150.000
300 gauss	120-4	39.976	104.813	51.114	780.430	47.335	58.671	930.788	144.988
80 gauss	140-1	31.878	72.072	32.571	732.502	37.422	89.397	547.471	121.275
150 gauss	140-2	40.550	96.907	50.172	784.880	54.296	62.543	883.849	150.515
220 gauss	140-3	40.486	98.516	56.005	804.993	56.680	60.729	918.354	162.618
300 gauss	140-4	41.082	101.126	54.711	813.352	57.476	61.624	853.052	166.107
80 gauss	200-1	36.600	86.849	36.600	763.648	51.489	83.747	686.725	126.551
150 gauss	200-2	39.028	102.367	51.823	778.631	58.221	69.738	843.250	150.352
220 gauss	200-3	40.973	111.396	55.058	796.415	63.380	67.222	900.128	165.813
300 gauss	200-4	39.889	111.729	56.559	803.136	65.092	65.886	889.065	155.983

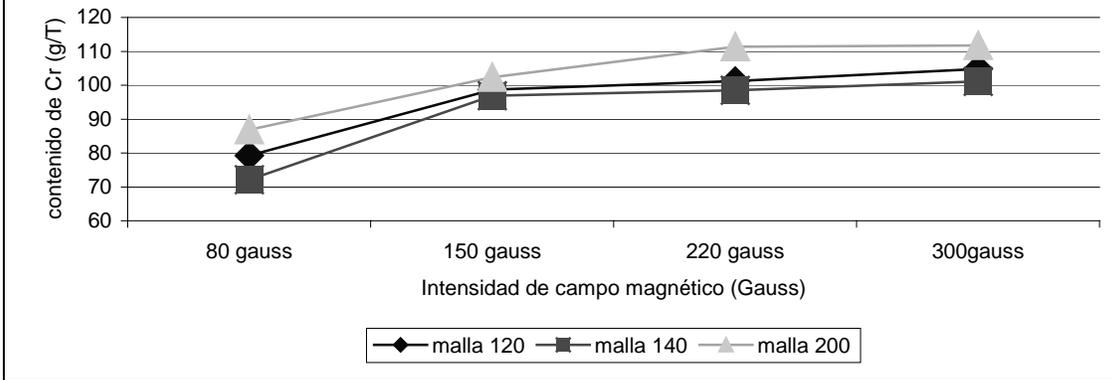
Gráfica 15 Contenido de Co vs Intensidades de campo a diferentes tamaños de mallas



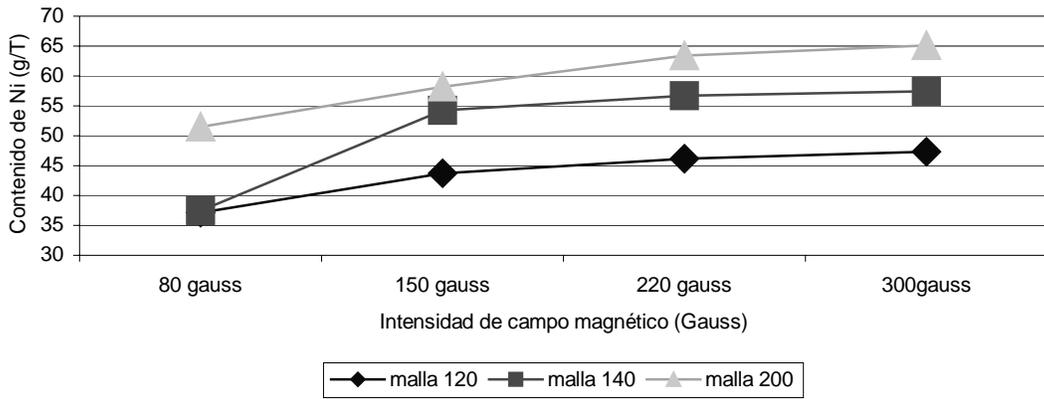
Gráfica 16 Contenido de Cu vs Intensidades de campo a diferentes tamaños de mallas



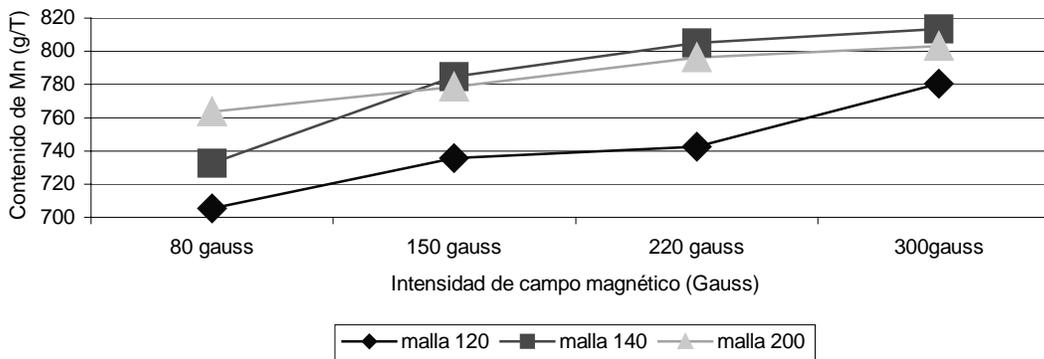
Gráfica 17 Contenido de Cr vs Intensidades de campo a diferentes tamaños de mallas



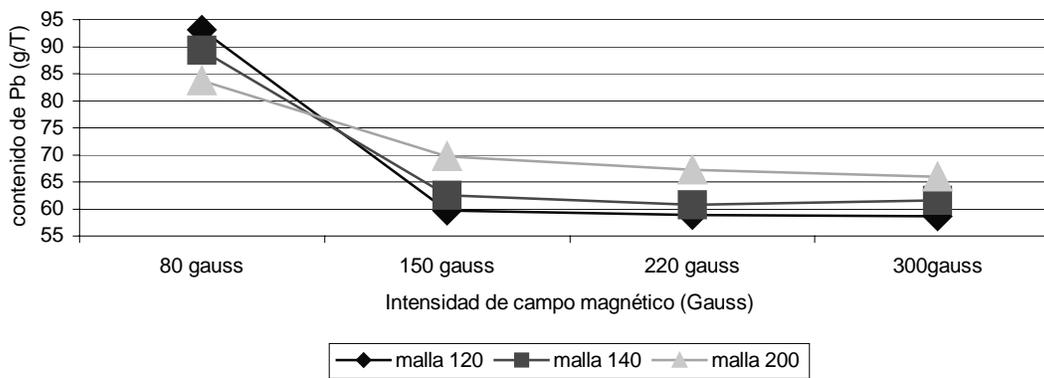
Gráfica 18 Contenido de Ni vs Intensidades de campo a diferentes tamaños de mallas



Gráfica 19 Contenido de Mn vs Intensidades de campo a diferentes tamaños de mallas



Gráfica 20 Contenido de Pb vs Intensidades de campo a diferentes tamaños de mallas



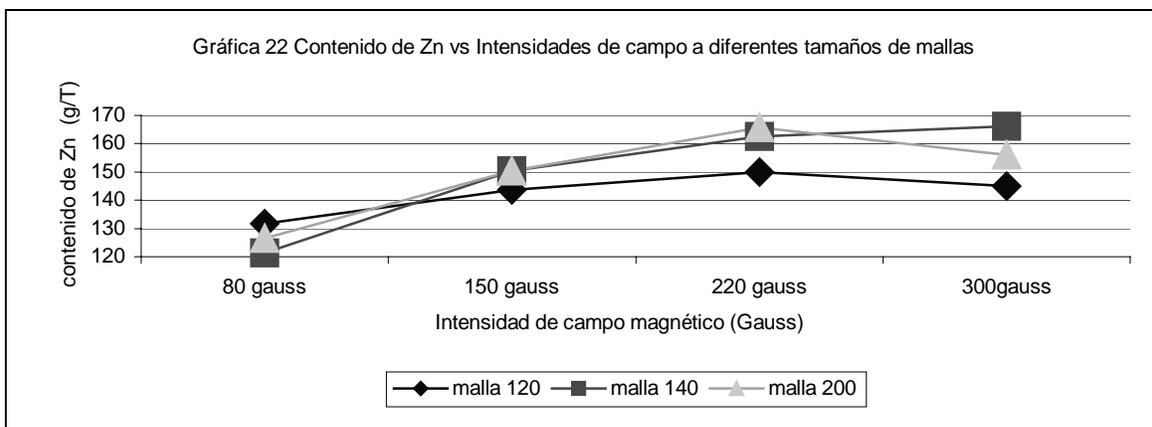
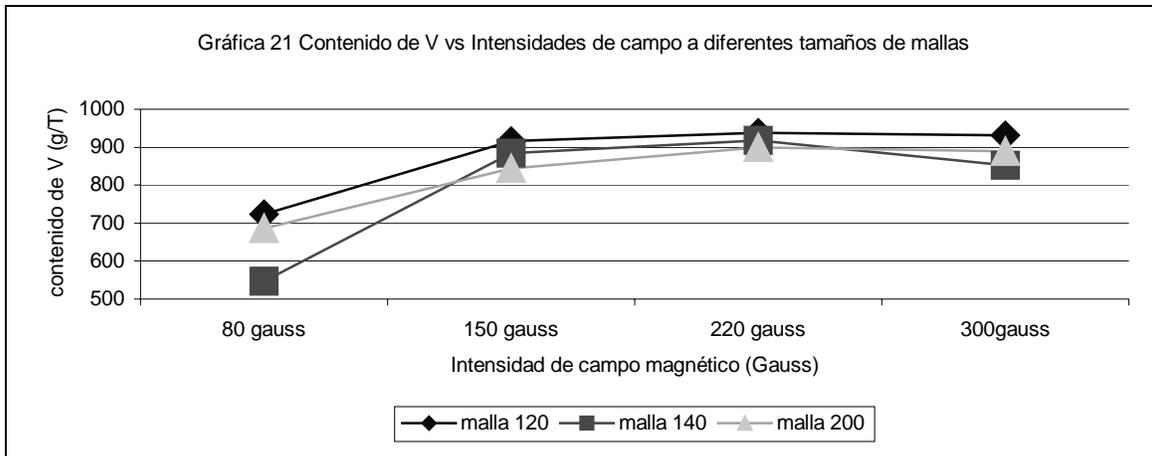
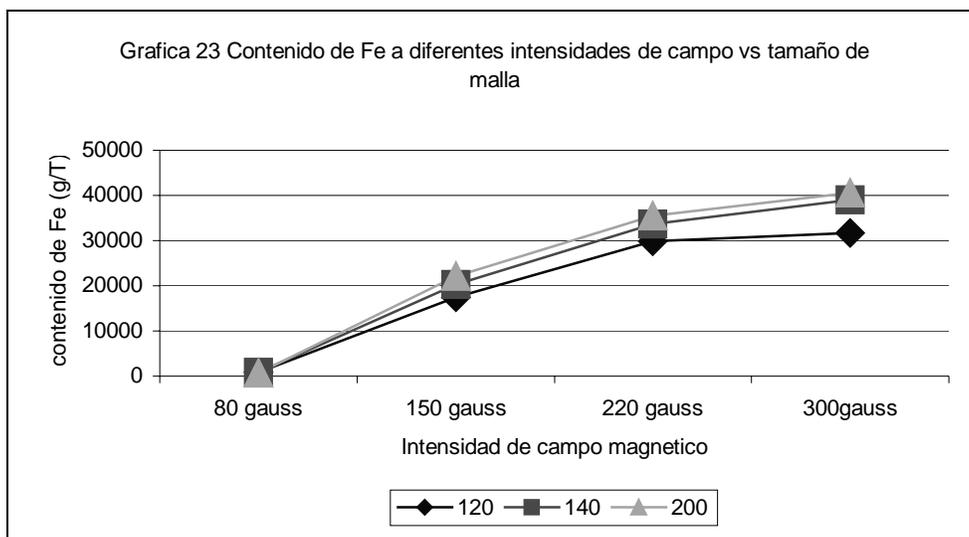


Tabla 24 Contenido de Fe en el mineral separado a diferentes tamaños de partículas y diferentes intensidades de campo magnético.

malla	Intensidad de campo magnético	concentración inicial mg/L	peso g	volumen ml	contenido de Fe (g/T)
120	80 gauss	2.5361	0.3132	100	809.74
120	150 gauss	51.5831	0.295	100	17485.80
120	220 gauss	79.9451	0.2681	100	29819.13
120	300 gauss	89.6082	0.2831	100	31652.49
			-0.14		
140	80 gauss	2.43	0.2841	100	855.33
140	150 gauss	58.8776	0.2912	100	20218.96
140	220 gauss	91.1555	0.2705	100	33698.89
140	300 gauss	105.3297	0.2698	100	39039.92
			-0.14		
200	80 gauss	2.0923	0.2703	100	774.07
200	150 gauss	59.5424	0.2695	100	22093.65
200	220 gauss	95.6942	0.27	100	35442.30
200	300 gauss	107.8706	0.266	100	40552.86

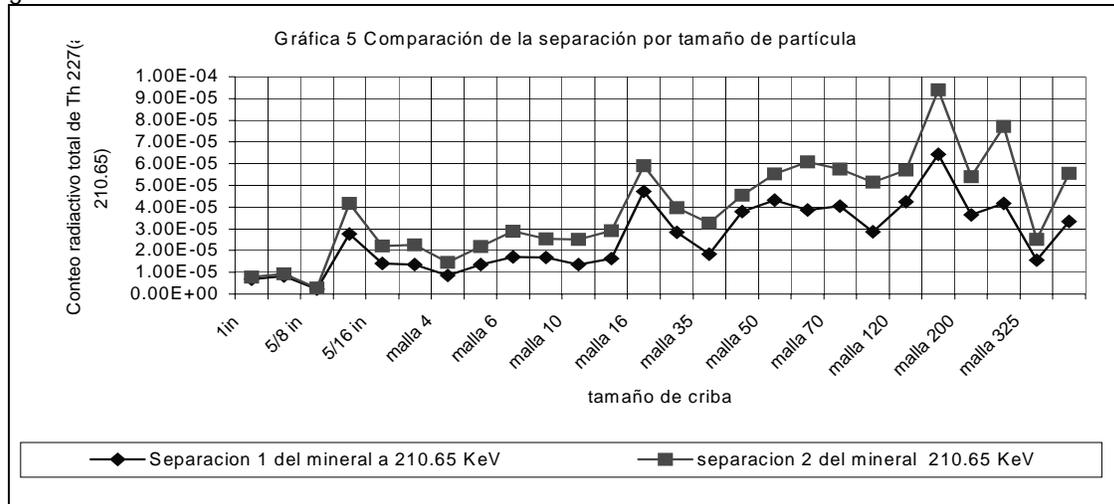


Las muestras analizadas mediante espectroscopía gamma presentaron los espectros que se muestran en el anexo IV en donde se observa la presencia de los fotopicos típicos de radioisótopos provenientes del mineral de torio y uranio encontrados en la mina.

Cada espectro corresponde a una fracción del mineral analizado, y a los estándares de calibración.

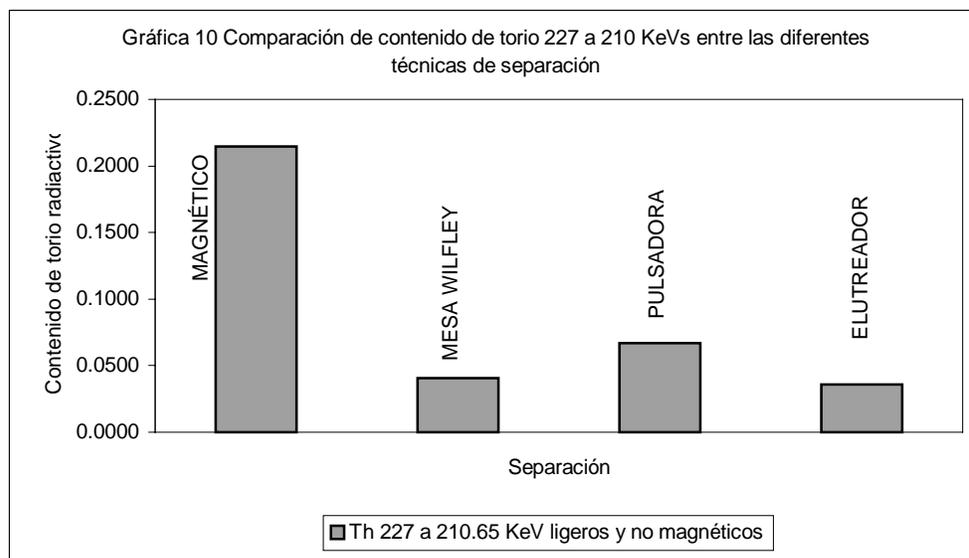
Análisis de resultados:

Para poder interpretar los resultados obtenidos se procedió a recopilarlos en las siguientes gráficas.

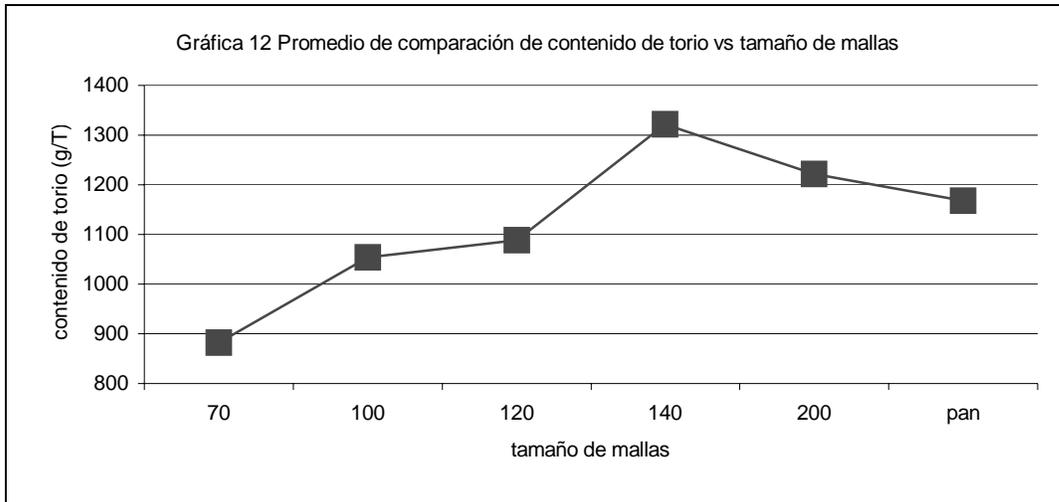


En la Gráfica 5 se puede observar que el tamaño de partícula en donde se presenta la mayor concentración de radioisótopos es en la malla -120,+140, sin embargo se puede trabajar las partículas desde la malla -16 a +325 ya que en este intervalo están contenidos además del Th, otros metales. Considerando estos resultados, se toma la decisión de trabajar en partículas a partir del tamaño de malla 70 hasta 200, comparando en cada caso el contenido de torio en cada fracción para tener una separación eficiente.

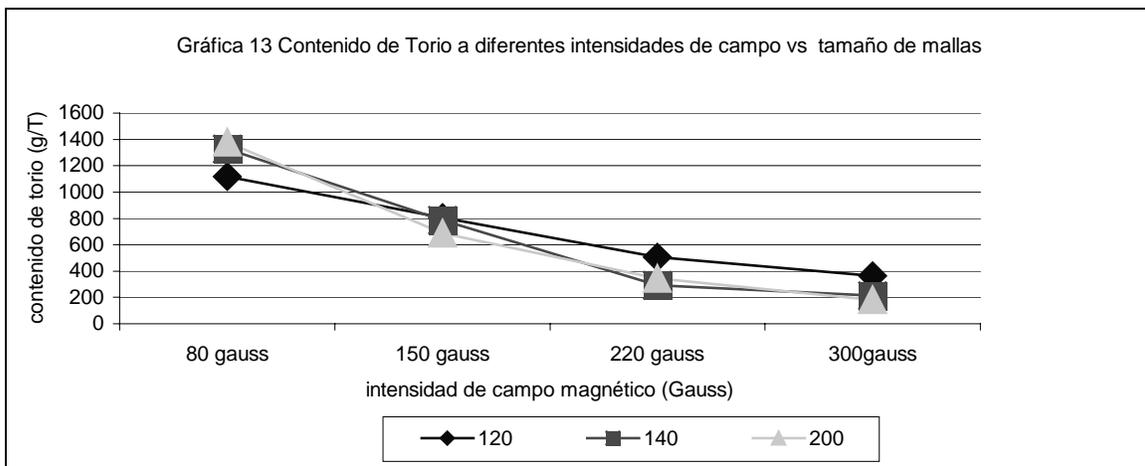
Para la separación física del mineral con los diferentes técnicas, tenemos las siguientes gráficas comparativas para cada caso:

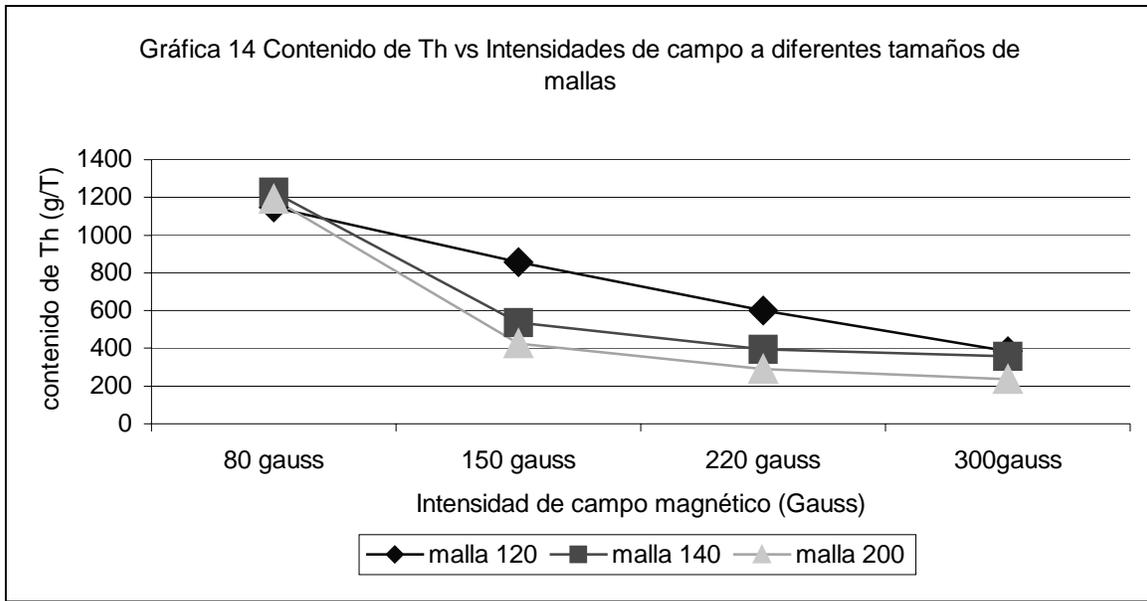


En la gráfica 10, se aprecia que la separación que tiene una mejor eficiencia es la que utiliza el tipo magnético, ahora, a continuación en la gráfica 12 se aprecia la comparación de los tamaños de partícula para ver como se puede optimizar la separación.



En la gráfica 12 el contenido de torio va aumentando hasta el tamaño de malla 140 y disminuye un poco hacia las partículas más pequeñas. Para las siguientes pruebas se tomaron los tamaños de partículas mas pequeños, que comprenderán de 120, 140 y 200, haciendo una separación magnética aplicando diferentes intensidades de campo magnético. Se hizo el análisis a la parte magnética de la separación, comparando cada una contra el tamaño de malla y el campo magnético aplicado.





Para este trabajo, por el tipo de mineral, se aprecia que una separación magnética, es desde el principio, un paso importante para tomar en cuenta, esto es debido a que se tiene un alto grado de Fe en el mismo (tabla 24 y espectros de difracción de Rx). En la gráfica 24 notamos que hay una buena separación de Fe desde la malla 120, pero la mejor está entre 140 y 200 con muy poca diferencia de valores entre las dos.

Para las pruebas iniciales, se tienen una buena separación del torio en la parte de separación magnética, tomando en cuenta que se tomaron valores fijos para cada una de las separaciones.

De acuerdo con los análisis de la separación magnética en las diferentes mallas, vemos que tienen una tendencia similar, pero en las mallas 140 y 200 se ve una separación mas eficiente de Th, dando una grafica en forma de curva, mientras que en la malla 120 es mas lineal. Siguiendo las curvas de concentración de las graficas 13 y 14 para el Th vemos que un punto importante de inflexión está en 220 gauss de intensidad de campo magnético. Esto es importante, ya que se puede establecer que no necesariamente necesitamos el campo magnético más alto para hacer la separación, sino que llega un momento en la intensidad de campo magnético que sin importar cuán alto sea, no se separará más mineral. En este punto de inflexión, se puede trabajar, optimizando tanto del tamaño de partícula como la intensidad del campo magnético. Esto es lo más importante, ya que tanto la trituración del mineral como el hecho de crear un campo magnético para la separación del mismo, requiere de energía, lo que se traduce en inversión de dinero para generarla y entre menor sea el tamaño de partícula y un campo magnético bajo, se gastará menos energía y por lo tanto menos dinero para su separación.

El otro metal importante, es el uranio, que se encuentra en el mineral, lo que representa también un factor importante para tomar en cuenta al hacer la separación. En la tabla 11 que presenta al inicio, hay una parte importante de U en el mineral. Es importante tomar en cuenta que debemos hacer una separación previa de U para no contaminar radiactivamente las separaciones posteriores de metales con valor agregado.

CONCLUSIONES

Es factible establecer una metodología de bajo costo para la separación de un mineral con leyes importantes tanto de Th como de otros elementos de interés, lo cual cumple con el objetivo de este trabajo.

La principal razón de utilizar la separación magnética, fue el contenido de Fe en el mineral de llegada, y suponiendo una forma del torio como óxido que se concentraría hacia la parte no magnética de una separación.

Entre mayor sea el campo magnético, la concentración de Th va disminuyendo en la parte magnética, lo que significa que en la parte no magnética del mineral se tiene la concentración mayor de Th y una buena separación a un tamaño de partícula pequeño desde malla 140 y un campo magnético de 220 gauss.

La aplicación de un proceso sencillo como la separación magnética permite tener estériles con baja ley remanente de Th y otros elementos radiactivos, pudiéndose observar una mayor separación de Th en minerales no magnéticos, lo cual simplifica el proceso de separación, de igual forma se encontró un tamaño de partícula adecuado para su trabajo de beneficio que no implica un proceso de conminución excesivo, y por lo tanto un gasto menor en dinero para la generación de energía.

Se puede establecer este trabajo como una base para ser implementado en la mina el Muerto por la misma comunidad y sería un proceso completamente ecológico que no implicaría el uso de ningún tipo de reactivo que pueda impactar posteriormente al ambiente como sucede hoy día en la mayoría de las minas.

BIBLIOGRAFIA.

- Collison, J.D.; Thompson, D.B. (1989). *"Sedimentary structures"*. Unwin & Hyman.
- F.A. Cotton , G. Wilkinson (1986) *"Química inorgánica básica"* Ed. Limusa.
- Macdonald, E.H. (1983). *"Alluvial mining: The geology, technology and economics of placers"*. Chapman & Hall.
- Morales Alvarado Mercedes (1999). *"Caracterización Geoquímica de la Pegmatita El Muerto, Oaxaca, México"*. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, UNAM.
- Armienta M.A., Zamora V., Juárez F. (1996). *"Manual para el análisis químico de aguas naturales, en el campo y en el laboratorio"*. Comunicaciones Técnicas, Serie Docencia y Divulgación No. 4 segunda reimpresión, Instituto de Geofísica, UNAM.
- Navarrete Manuel, Cabrera Luis (1993) *"Introducción al estudio de los radioisótopos"* 2da. Edición, Facultad de Química, sección nuclear, UNAM, Ed. Porcia editores, S.A. de C.V.,
- R. Choppin Gregory and Rydberg Jan (1980) *"Nuclear Chemistry theory and Applications"* Ed. Pergamon Press.
- Rivera Trigos René (1987), *"Química del Torio"*. Tesis de Licenciatura. Ingeniería Química Metalúrgica, Facultad de Química, UNAM.
- Tucker, M.E. (1991). *"Sedimentary petrology"*. Backwell Science..
- Arriola S. Humberto, Bravo S. Juan Manuel (1983) *"Curso de instrumentación nuclear"* Facultad de Química, División de Estudios de Posgrado, Departamento de Ciencias Nucleares, UNAM.
- Ortec Instrument, (1995), *"Software User's Manual"*.
- Antunez-Echagaray, F., 1958, Manual para la exploración del uranio. Comisión Nacional de Energía Nuclear, México.
- Muecke, G.K., Pride, C. and Sarkar, P.. 1979, Rare earth element geochemistry of regional metamorphic rocks. in Origin and Distribution of the Elements, 2. Ed Pergamon Press,
- Ortega-Gutiérrez, F., 1977, Los mármoles intrusivos del Complejo Oaxaqueño. Inst. Geol. UNAM. Schulze. C.H.. 1988, Análisis estratigráfico y metalogenético del Estado de Oaxaca, Tesis de Licenciatura. UNAM, México, 1988.
- James E Huheey Química inorgánica principios de estructura y reactividad segunda edición ed Harla.
- Frederick J. Bueche Fundamentos de física. Tomo II 1993. Tercera edición. Ed Mc Graw Hill
- Clegg, John W Uranium ore processing /Ed. by john w. Clegg and Dennis D. Foley Reading, mass. : Addison-wesley, c1958.
- Wills, B. A. Mineral processing technology :An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery Oxford : Pergamon, 1988.

ANEXO I Cadenas radiactivas de Th y U

Tabla 1 Cadena Radiactiva del torio (4n) (12 miembros o eslabones)

Radio isótopo	Vida Media	Nombre histórico	Tipo de decaimiento
²³² Th	1.4X10 ¹⁰ años	Torio	α
²²⁸ Ra	6.7 años	Mesotorio I	β^-
²²⁸ Ac	6.13 horas	Mesotorio II	β^-
²²⁸ Th	1.9 años	Radiotorio	α, γ
²²⁴ Ra	3.64 días	Torio X	α, γ
²²⁰ Rn	55 seg	Toron (emanación)	α, γ
²¹⁶ Po	0.15 seg	Torio A	α
²¹² Pb	10.6 horas	Torio B	β^-, γ
²¹² Bi	60.6 minutos	Torio C	α, β^-, γ
²¹² Po (64%)	304 nanosegundos	Torio C'	α
²⁰⁸ Tl (36%)	3.1 minutos	Torio C''	β^-, γ
²⁰⁸ Pb	Estable	Torio D	-----

Tabla 2 Cadena Radiactiva del uranio-238 (4n+2) (19 miembros o eslabones)

Radio isótopo	Vida Media	Nombre histórico	Tipo de decaimiento
²³⁸ U	4.5X10 ⁹ años	Uranio I	α
²³⁴ Th	24.1 días	Uranio X ₁	β^-, γ
^{234m} Pa	1.17 minutos	Uranio X ₂	β^-, γ
²³⁴ Pa	6,75 horas	Uranio Z	β, γ
²³⁴ U	2.5X10 ⁵ años	Uranio II	α, γ
²³⁰ Th	8X10 ⁴ años	Ionio	α, γ
²²⁶ Ra	1 602 años	Radio	α, γ
²²² Rn	3.8 días	Radón (emanación)	α, γ
²¹⁸ Po	3.05 minutos	Radio A	α, β^-
²¹⁴ Pb(99.98%)	26.8 minutos	Radio B	β^-, γ
²¹⁸ At(0.02%)	2 segundos	Astatino	α
²¹⁴ Bi	19.7 minutos	Radio C	α, β^-, γ
²¹⁴ Po(99.98%)	164 μ segundos	Radio C'	α, β^-
²¹⁰ Tl(0.02%)	1.3 minutos	Radio C''	β^-, γ
²¹⁰ Pb	21 años	Radio D	β^-, γ
²¹⁰ Bi	5.01 años	Radio E	α, β^-
²¹⁰ Po(100%)	138.4 días	Radio F	α
²⁰⁶ Tl(0.00013%)	4.19 minutos	Radio E'	β^-
²⁰⁶ Pb	Estable	Radio G	-----

Tabla 3 Cadena Radiactiva del uranio-235 (4n+3) (15 miembros o eslabones)

Radio isótopo	Vida Media	Nombre histórico	Tipo de decaimiento
²³⁵ U	7.1X10 ⁸ años	Actinouranio	α, γ
²³¹ Th	25.2 horas	Uranio Y	β^-, γ
²³¹ Pa	3.25X10 ⁴ años	Protactinio	α, γ
²²⁷ Ac ²²⁷ Th(98.6%) ²²³ Fr(1.4%)	21.6 años 18.2 días 22 minutos	Actinio Radioactinio Actinio K	α, β^-, γ α, γ β^-, γ
²²³ Ra	11.43 días	Actinio X	α, γ
²¹⁹ Rn	4 segundos	Actinon (emanación)	α, γ
²¹⁵ Po ²¹¹ Pb(100%) ²¹⁵ At(0.00023%)	1.8 milisegundos 36.1 minutos 0.1 milisegundo	Actinio A Actinio B Astatino	α, β^- β^-, γ α
²¹¹ Bi ²¹¹ Po(0.28%) ²⁰⁷ Tl(99.7%)	2.15 minutos 0.52 segundos 4.79 minutos	Actinio C Actinio C' Actinio C''	α, β^-, γ α, γ β^-, γ
²⁰⁷ Pb	Estable	Actinio D	-----

ANEXO II GLOSARIO

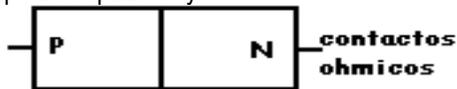
Clastos. Cuando una roca es atacada por la meteorización física o química se transforma en partículas de tamaños diversos denominados clastos.

Cuerpo de roca . Es una masa rocosa cuya forma y dimensiones pueden ser muy variables.

Destilación. Purificación de líquidos al hervirlos y recoger el vapor que se condensa. El proceso se utiliza para refinar el petróleo hasta para hacer alcoholes.

Diagénesis del griego día = a través génesis = formación Conjunto de procesos que afectan a un depósito sedimentario y lo litifica o transforma en roca sedimentaria.

Diodo: Dispositivo semiconductor, formado por la unión de dos materiales semiconductores de diferente tipo de dopado: P y N



Diodo semiconductor

En el momento de realizar la unión, los huecos del material tipo p se difunden hacia el material tipo N y los electrones del material tipo N se difunden hacia el material tipo P.

En el transcurso del proceso, el electrón se pasa a P, abandona el átomo que lo contenía y por tanto se crea un ion positivo (átomo cargado positivamente) y lo mismo sucede con los huecos, los cuales permiten que el átomo acepte un electrón y queda convertido en un ion negativo.

El proceso de generación de iones, crea una zona en la frontera, llamada de carga espacial, que por las características de las cargas forma un campo eléctrico, el cual detiene el proceso de difusión y se habla entonces de un equilibrio de la densidad total de corriente.

Dosis máxima permisible DMP: Dosis de radiación que puede recibir una persona ocupacionalmente expuesta sin que su organismo sufra daño alguno. La dosis máxima permisible para personal ocupacionalmente expuesto durante 40 horas a la semana es de 2.5 milirems por hora.

Efectividad biológica relativa: Unidad que se utiliza para medir el daño biológico causado por iguales dosis de diferentes tipos de radiación. El termino en español es efectividad biológica relativa.

Estructura cristalina : Es el patrón ordenado y repetitivo en tres dimensiones de átomos o moléculas de un sólido cristalino

Efecto Compton: Es una de las formas de interacción de los rayos γ con la materia. Consiste en que un rayo γ transfiere una fracción de su energía a un electrón orbital de uno de los átomos que constituyen el medio atravesado por la radiación y este electrón es desplazado del átomo, formándose un par iónico. El rayo γ incidente queda con menor energía, mayor longitud de onda y en consecuencia con una mejor disposición para interactuar con los átomos vecinos, hasta que se produce el efecto fotoeléctrico y es absorbido.

Elutriación: Un elutriador es un tubo vertical a través del cual pasa un fluido ascendente a una velocidad específica, separando a los sólidos, provisto de una entrada de fluido y una descarga de sólidos por el fondo, así como de un dispositivo de alimentación regulada y un rebosadero superior, para la regulación del caudal del fluido (agua en la mayoría de los casos) por el tubo. Se puede conseguir cualquier velocidad deseada del fluido ascendente y la alimentación se encuentra al entrada con una corriente ascendente de fluido. Aquellas partículas cuyas velocidades límites o terminales resulten mayores que la de la corriente del agua, caerán hacia el fondo del aparato, mientras que aquellas otras que posean velocidades límites inferiores a las del agua serán arrastradas al desagüe. El elutriador se utiliza para la clasificación por tamaños, cuando se realiza en la escala de laboratorio, o con el fin de determinar la distribución de las partículas según sus dimensiones, o bien como concentrador por diferencia de densidades de los minerales puestos a prueba.

Fisión: División del núcleo atómico en 2 partes desiguales, en la mayoría de los casos producida por bombardeo de metales pesados con partículas como neutrones, deuterones o protones.

Fusión: Unión en un solo núcleo de 2 núcleos ligeros, como hidrógeno, deuterio o tritio, cuando son lanzados uno contra otro con suficiente energía. La fusión al igual que la fisión produce calor y neutrones.

Lixiviación: Proceso de lavado que realiza el agua que se infiltra en el suelo. Por medio de este, se pueden recoger diferentes tipos de iones y o compuestos para ser depositados en otro lugar, cercano o lejano, dependiendo de la movilidad de estos.

Neutrones térmicos: Neutrones de baja energía que sirven para bombardear elementos para producir otras reacciones nucleares, estos pueden ser emitidos por algunos núcleos al realizarse la fisión nuclear o bien por medio de reacciones nucleares.

Pegmatita: Roca ígnea de grano muy grueso, que se suele referir a rocas de composición granítica.

También se utiliza para otras rocas plutónicas, cuyos nombres se utilizan como prefijo, p.ej. gabro-pegmatita. Origen: Ígnea. Plutónica o intrusiva. Observaciones: La mineralogía es muy parecida a la del granito.

Placeres: Yacimientos de origen fluvial o marino con elevado contenido en un determinado mineral de interés económico.

Plagioclasas: Serie de tectosilicatos de Ca y Na, perteneciente al grupo de los feldespatos. Esta serie está formada por los términos: Albita, oligoclasa, andesina, labradorita, bytownita y anortita.

Proceso metamórfico

Cambios físicos de una roca preexistente en estado sólido por efecto de la presión y la temperatura con valores mayores que los de diagénesis.

Saltación de partículas: Transporte de sedimentos en una corriente de agua por saltos intermitentes.

Movimiento discontinuo de partículas de sedimento por encima del suelo (en flujo de aire) o por encima del lecho del cauce (en flujo de agua).

Semiconductor: Un semiconductor es un elemento que se comporta como conductor o como aislante dependiendo del campo eléctrico en el que se encuentre.

ANEXO III La radiactividad.

La radiactividad consiste en la emisión de partículas de parte de los átomos de algunos elementos. Son radiactivos aquellos elementos que tienen un número muy elevado de protones y neutrones que se transforman, por emisión de partículas alfa (núcleos de Helio), beta (electrones), o gamma (fotones), en otros elementos nuevos, que pueden ser o no, a su vez, radiactivos. El proceso de degradación por el cual los núcleos emiten partícula o rayos, perdiendo masa o pura energía, y convirtiéndose en algún otro elemento en el primer caso o el mismo elemento en otro estado de energía en el segundo, es conocido como decaimiento radiactivo.

La radioactividad fue descubierta en 1896, por Henri Becquerel como una consecuencia directa del descubrimiento de los Rayos X por Röntgen, algunos meses antes. El término actual de radioactividad, no aparece sino un año después en una publicación de Pierre y Marie Curie sobre sus investigaciones químicas de la peblenda. Desde esta época, las radiaciones, los materiales que las emiten y sus aplicaciones han sido continuamente estudiadas, dando lugar a la creación de nuevas disciplinas científicas:

- La radioquímica estudia las propiedades fisicoquímicas de los radioisótopos naturales y artificiales, los métodos para su obtención y purificación, el uso de trazadores radiactivos en la investigación química y los efectos químicos de las transformaciones nucleares.
- La química de radiaciones estudia los efectos químicos producidos por las radiaciones ionizantes.
- La química nuclear estudia la síntesis de nuevos núcleos y la producción de elementos artificiales, como Tecnecio Prometio y transuránidos.
- La física nuclear estudia las partículas que forman el núcleo atómico, la configuración del mismo y los cambios de energía que en él tienen lugar.
- La ingeniería nuclear estudia el diseño y funcionamiento de los reactores nucleares.
- La física de neutrones estudia la producción, detección y comportamiento de esta partícula subnuclear, en particular.
- La medicina nuclear estudia el comportamiento de compuestos radiactivos en el organismo humano, usados como trazadores con propósitos de diagnóstico, o bien con fines terapéuticos, así como el diagnóstico y tratamiento de padecimientos originados por la sobre-exposición a las radiaciones nucleares.
- La radiobiología estudia el efecto de las radiaciones nucleares sobre las estructuras celulares de los seres vivos.
- La seguridad radiológica estudia los métodos necesarios para que el manejo de materiales radiactivos puede realizarse sin riesgos para la salud o el medio ecológico.

La radiactividad es un fenómeno natural al que el hombre ha estado siempre expuesto, aunque también están las radiaciones artificiales, así pues, se diferencian dos casos; radiación natural y radiación artificial:

Radiación natural: Las radiaciones naturales se dividen en radiaciones externas e internas al cuerpo. Dentro de las radiaciones externas tenemos dos componentes dependiendo de su origen: las radiaciones cósmicas y las radiaciones terrestres. Respecto a las radiaciones internas, éstas se agrupan según su modo de entrada a nuestro organismo, ya sea por procesos de inhalación o por ingestión.

El componente terrestre de las radiaciones naturales se debe a la presencia de las cadenas radiactivas del uranio y del torio que se encuentran en los materiales de la corteza terrestre. Tanto el uranio como el torio dan lugar a una serie de hijas radiactivas que van decayendo con el tiempo y que al hacerlo emiten radiaciones ionizantes para lograr llegar a una estabilidad nuclear en el plomo (que no es radiactivo). La localización es un factor importante en la cantidad de dosis que recibimos del componente terrestre. Los suelos arenosos presentan menos radiación que los sedimentarios, y éstos a su vez menos que los que contienen granito.

Fuentes internas al cuerpo: dentro de esta categoría tenemos a las fuentes radiactivas que ingresan a nuestro cuerpo por vía de la ingestión y de la inhalación. Los alimentos que ingerimos contienen materiales radiactivos. Los dos radionúclidos que ingerimos de más importancia son el potasio-40 y el radio-226. La principal fuente de potasio-40 se obtiene de los bananos y la leche que consumimos. Se han reportado dosis de 0.15 - 0.19 mSv/año debido al K40 en bananos. El potasio se encuentra en equilibrio homeostático y que éste es esencial para el buen funcionamiento de nuestro cuerpo. El radio-226 presente en los alimentos no es esencial para nuestro cuerpo y su incorporación dependerá de lo que comamos. La principal contribución a nuestra dieta del radio la encontramos en el agua que bebemos de pozos. Las radiaciones cósmicas del espacio exterior (Sol y estrellas), ellos son gigantescos reactores nucleares, aunque lejanos. Esta radiación natural, es del orden del 88% de la radiación total recibida por el ser humano.

Radiación artificial: Proviene de fuentes creadas por el hombre. Los televisores o los aparatos utilizador para hacer radiografías médicas son las fuentes más comunes de las que recibimos radiación artificial. La generada en las centrales nucleares, pertenece a este grupo. El incremento de radiación que recibe una persona en un año como consecuencia del funcionamiento normal de una central nuclear, es de 1 milirem al año (1 REM = radiación de rayos gamma existente en el aire por centímetro cúbico de aire),. La radiación artificial total recibida por el ser humano es del orden del 12% de todas las radiaciones recibidas. Se clasifica de la siguiente manera:

- Televisores y aparatos domésticos: 0.2%
- Centrales nucleares: 0.1%
- Radiografías médicas: 11.7 %

DECAIMIENTO RADIOACTIVO Y VELOCIDAD DE DESINTEGRACIÓN.

Cada núcleo radiactivo de un radioisótopo particular tiene la misma posibilidad de desintegración en la unidad de tiempo. Esta probabilidad se mide por la constante de decaimiento λ , característica para cada especie radiactiva. Si a un tiempo dado t_0 existen N átomos radiactivos, y dN de estos átomos decaen

en un tiempo dt , tenemos que: $dN = -\lambda N dt \rightarrow \frac{dN}{dt} = -\lambda N$. El signo negativo es

necesario para indicar que N disminuye con el tiempo. $\frac{dN}{dt}$ es el número de núcleos radiactivos que

decaen en la unidad de tiempo emitiendo radiaciones. La ley de decaimiento radiactivo puede ser expresada como $A = A_0 e^{-\lambda t}$.

La unidad de radiactividad es el curie o curio, que se define como cualquier cantidad de material radiactivo que sufre 3.7×10^{10} desintegraciones por minuto (dpm), las cuales equivalen aproximadamente a la velocidad de decaimiento de 1g de radio. Existe otra unidad menos usada, el Rutherford, que se abrevia rd y se define como cualquier material radiactivo que rinde 10^6 desintegraciones por minuto. En los últimos años, ha sido creada otra unidad para medir la radiactividad, el Berquerel y se define como la cantidad de cualquier material radiactivo que sufre 1 desintegración por segundo.

Cuando la actividad, no importa cual sea su nivel a un tiempo dado t_0 alcanza un valor igual a la mitad del inicial después de transcurrido el tiempo $t_{1/2}$ tendremos $\frac{A}{A_0} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}} \therefore t_{1/2} = \frac{.0693}{\lambda}$

Este valor de tiempo es llamado la vida media del radioisótopo en cuestión, misma que se define como el tiempo tomado por cualquier actividad inicial de un radionúclido particular para ser reducida a la mitad. Entre los radioisótopos existen muchos ejemplos de cadenas de decaimiento, en las cuales un padre radiactivo decae a un hijo que es también radiactivo y así sucesivamente.

Los efectos de la radiación

La radiactividad existe desde el principio de los tiempos. Y ha habido épocas en las que el nivel de radiactividad natural era muy superior al actual. Pero sólo en tiempo reciente hemos podido conocer los

efectos de las radiaciones. Para estudiar este tema, se crea, en los años veinte, la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Dos décadas más tarde, durante la Segunda Guerra Mundial, las explosiones de Hiroshima y Nagashaki, en Japón, muestran al mundo el efecto devastador de las grandes dosis de radiación.

Como se menciona antes, las formas de ingreso al organismo pueden ser por Inhalación, ingestión y a través de la piel, por lo tanto el riesgo creado por un elemento radiactivo dentro del cuerpo depende de: la cantidad de elemento en el órgano, la energía de la radiación emitida la eficacia biológica relativa de la radiación la uniformidad de la distribución dentro del órgano afectado el tamaño e importancia del órgano, y la vida media efectiva del elemento radiactivo, que representa una medida del decrecimiento de la radiactividad dentro del tejido, y se determina al combinar la vida media radiológica y la vida media biológica (eliminación del cuerpo).

Consecuencias de la radiación.

En 1909 se reconoció que la dermatitis, causada por repetidas exposiciones a las radiaciones, degeneraba en cáncer. También se comprobó que aunque se suprimiera la exposición, el cáncer igualmente aparecía entre los seis y treinta años posteriores.

Henri Becquerel, el descubridor de la radiactividad, observó que las radiaciones emitidas por uranio y radio producen efectos biológicos similares a los producidos por los rayos X: notó una quemadura en su piel, justo en el lugar que coincidía con un poco de radio que llevaba en el bolsillo. El hecho de que la radiación de los minerales de uranio produzca cáncer se demostró, desafortunadamente en una forma espectacular, cuando se estudió la incidencia de cáncer de pulmón entre la población minera de Scheeberg y Joachimsthal, en Austria. Estas minas, que fueron explotadas durante años, son muy ricas en uranio; de ellas se proporcionó la pechblenda a Marie Curie, a partir de la cual separó al radio.

La historia del denominado "mal de las montañas" de las minas austriacas se remonta al siglo XVI; pero fue hasta finales del siglo XIX cuando se reconoció que dicha enfermedad era cáncer de pulmón. Hoy se sabe, con toda certeza, que el cáncer de pulmón se produjo como una consecuencia de la inhalación de uranio. Debido a la escasa ventilación y a la elevada concentración de uranio (y por tanto de radio-226 y radón-222, ambos descendientes del uranio-238), se identificaron elevadas tasas de radiactividad. Se encontró, además, que el periodo de latencia o incubación para el cáncer de pulmón es de 20 años.

Otro episodio relacionado con los efectos de la radiación se refiere a los trabajadores que se dedicaban a pintar diales, para relojes luminiscentes, con pintura que contenía sales de radio. Era práctica usual comenzar la tarea humedeciendo el pincel con los labios; de esta manera, algo de radio era absorbido y al cabo de unos años, muchos de esos trabajadores eran víctimas de anemia y hemorragias, y otros contraían cáncer en los huesos.

La irradiación interna representa un peligro, pues se produce una exposición continua a la radiación hasta que el material radiactivo se desintegra totalmente o se elimina del cuerpo

Las partículas alfa, debido a su masa relativamente grande, y su carga doblemente positiva, pierden rápidamente su energía en el medio que atraviesan; por ello, el alcance de estas partículas es muy corto. Una partícula alfa de 4 MeV tiene un alcance, dentro de los tejidos, de sólo unas cuantas centésimas de milímetro, y viaja en el aire 3 cm como máximo. Las partículas alfa no ofrecen un gran riesgo de radiación externa; sin embargo, al interior del organismo representan un peligro enorme si se depositan en un órgano vital causan gran daño por sus energías altas (de 4 a 9 MeV), y por su alta ionización específica; además, el daño relativo en el tejido es alrededor de 20 veces mayor que las radiaciones beta y gamma.

Los riñones son órganos críticos, pues en ellos el uranio soluble presenta una vida media efectiva de 15 días. La carga total permisible del organismo para los riñones es de 500 milicuries (un curie es la radiación equivalente a 1 g de radio puro; es decir, 37 mil millones de desintegraciones por segundo). No es fácil que una persona pueda ingerir tanto material, y en caso de ser así, probablemente los efectos tóxicos de la sustancia química precederían a los efectos de la radiación. Sin embargo, el uranio fijo en los huesos da lugar a la formación de radio-226, como parte de su familia radiactiva, y la vida media efectiva en los huesos de éste es aproximadamente de 44 años. El radio, por ser miembro del grupo de los metales alcalinotérreos, tiene un comportamiento químico similar al calcio, lo que facilita su fijación en los huesos y

presenta, por lo tanto, un riesgo de radiación interna muy serio. La máxima cantidad permisible para los huesos es de 100 millonésimas de gramo de radio.

La radiación de los elementos en los seres vivos, si se sobrepasan los límites anuales de radiación normal es la mutación, ya que afecta a las generaciones tanto presentes, como futuras, y sus efectos irían desde la falta de miembros corporales, malformaciones en fetos, esterilidad, etc.

Pero no todo en radiación es malo, un ejemplo son los rayos X que se utilizan en medicina para descubrir muchos problemas físicos y enfermedades. También usan las radiaciones para curar el cáncer u otras enfermedades graves. Muchas industrias se benefician de las aplicaciones positivas de las radiaciones. Este es el caso de las Centrales Nucleares que producen electricidad

Cómo protegernos de la radiactividad

Hay tres formas fundamentales de protegernos de las radiaciones:

- 1.) Interponiendo obstáculos entre ellas y nosotros.
- 2.) Alejándonos de la fuente que las produce.
- 3.) Reduciendo el tiempo de exposición.
 1. El uso de equipos adecuados permite reducir la cantidad de radiación absorbida en usos médicos.
 2. En el caso de las centrales nucleares, los muros de cemento y niveles adecuados de agua limitan el riesgo de los trabajadores.
 3. Una adecuada contribución de barreras de protección y una distancia suficiente permiten manipular con seguridad objetos muy radiactivos.
 4. Para reducir al máximo la exposición a las radiaciones, los operadores efectúan distintos entrenamientos antes de pasar a realizar sus tareas en zonas radiactivas.

De este modo, podemos reducir una parte de las radiaciones que recibimos. Esto está claro en el caso de radiaciones artificiales,, pero no es tan fácil limitar la exposición a la radiación natural, como en el caso de las personas que viven en zonas montañosas y graníticas.

Efectos biológicos de las radiaciones.

Dosis agudas		Efecto probable
0 - 25 rems	(0 - .25 Sv)	Ninguna lesión evidente.
25 - 50 rems	(.25 - .5 Sv)	Posibles alteraciones en la sangre, pero ninguna lesión grave.
50 - 100 rems	(.5 - 1 Sv)	Alteraciones de las células sanguíneas. Alguna lesión. Ninguna incapacitación.
100 - 200 rems	(1 - 2 Sv)	Lesión. Posible incapacitación.
200 - 400 rems	(2 - 4 Sv)	Certeza de lesión e incapacitación. Probabilidad de defunción.
400 rems	(4 Sv)	Cincuenta por ciento de mortalidad.
600 o más rems	(6 Sv)	Probablemente mortal.

Resumen de los efectos probables de la irradiación total del organismo

Dosis ligera		Dosis moderada		Dosis semimortal	Dosis mortal
0 - 25 rems	50 rems	100 rems	200 rems	400 rems	600 rems o más
Ningún efecto clínico detectable.	Ligeros cambios pasajeros en la sangre.	Náuseas y fatiga con posibles vómitos por encima de 125 roentgens.	Náuseas y vómitos en las primeras 24 horas.	Náuseas y vómitos al cabo de 1-2 horas.	Náuseas y vómitos al cabo de 1-2 horas.
Probable efecto diferido	Ningún otro efecto clínicamente	Alteraciones sanguíneas marcadas con	A continuación un periodo latente de una semana, caída	Tras un periodo latente de una semana, caída del	Corto periodo latente a partir de la náusea

ninguno	detectable.	restablecimiento diferido.	del cabello, pérdida del apetito, debilidad general y otros síntomas como irritación de garganta y diarrea.	cabello, pérdida del apetito y debilidad general con fiebre.	inicial.
	Posibles efectos diferidos, pero muy improbables efectos graves en un individuo medio.	Probable acortamiento de la vida.	Posible fallecimiento al cabo de 2-6 semanas de una pequeña fracción de los individuos irradiados.	Inflamación grave de boca y garganta en la tercera semana.	Diarrea, vómitos, inflamación de boca y garganta hacia el final de la primera semana.
			Restablecimiento probable de no existir complicaciones a causa de poca salud anterior o infecciones.	Síntomas tales como palidez, diarrea, epístaxis y rápida extenuación hacia la 4a. semana.	Fiebre, rápida extenuación y fallecimiento incluso en la 2a. semana.
				Algunas defunciones a las 2-6 semanas. Mortalidad probable de 50%.	Finalmente, fallecimiento probable de todos los individuos irradiados.

ANEXO IV Espectros de las Muestras analizadas por espectrometría gamma.

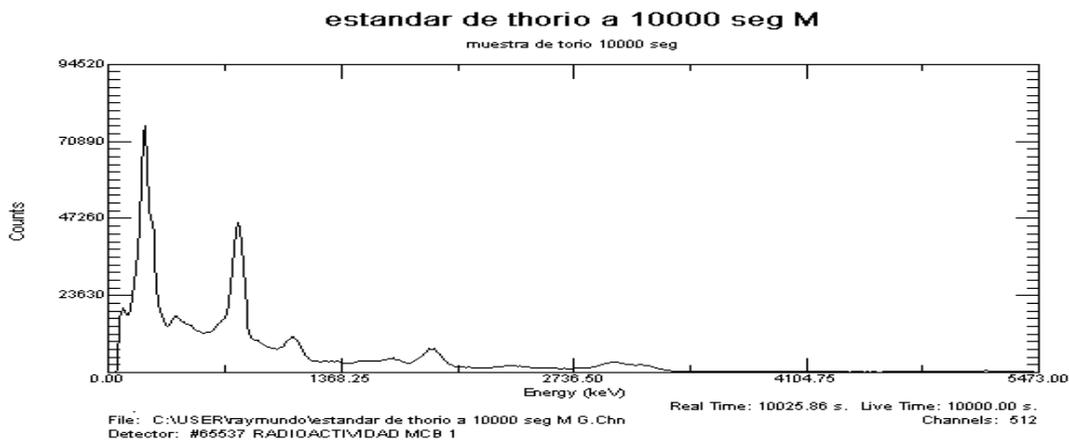


Fig. 17.- Estándar de torio 1.

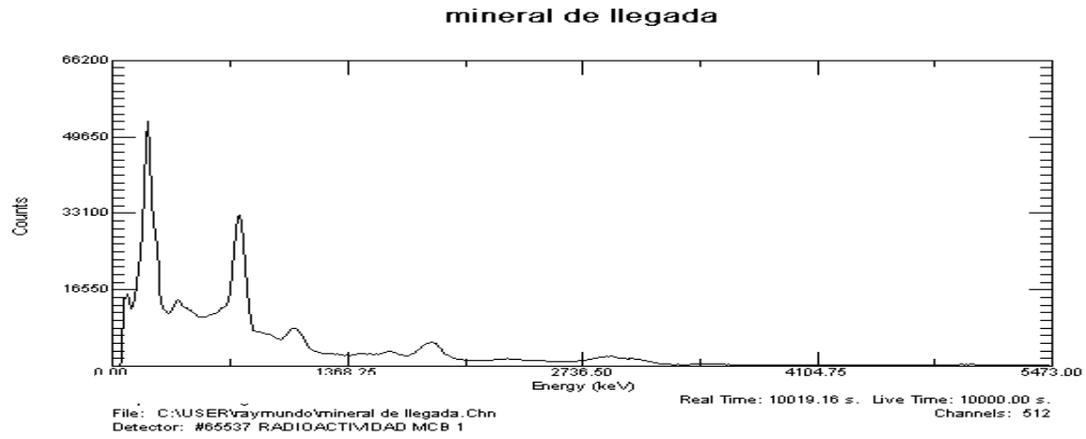


Fig. 18.- Mineral de llegada.

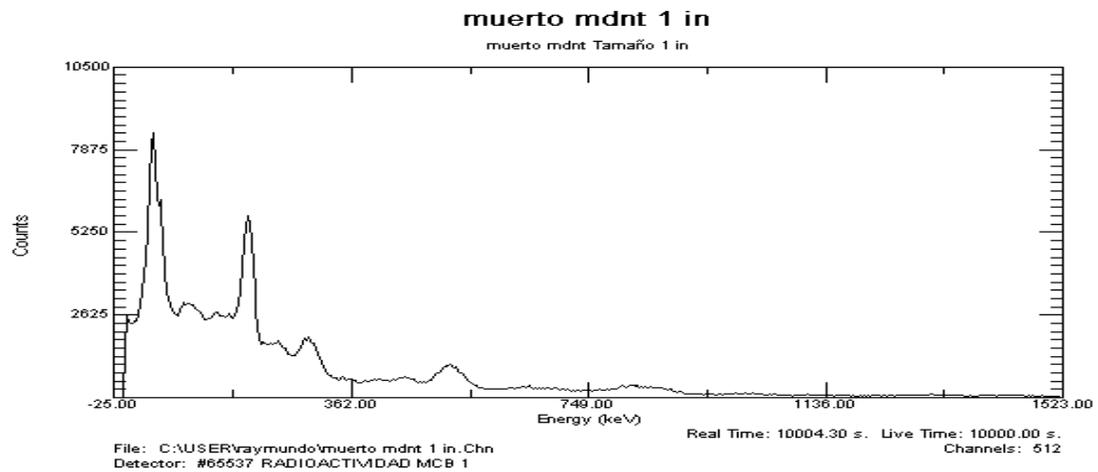


Fig. 19.- Mineral malla 1 in.

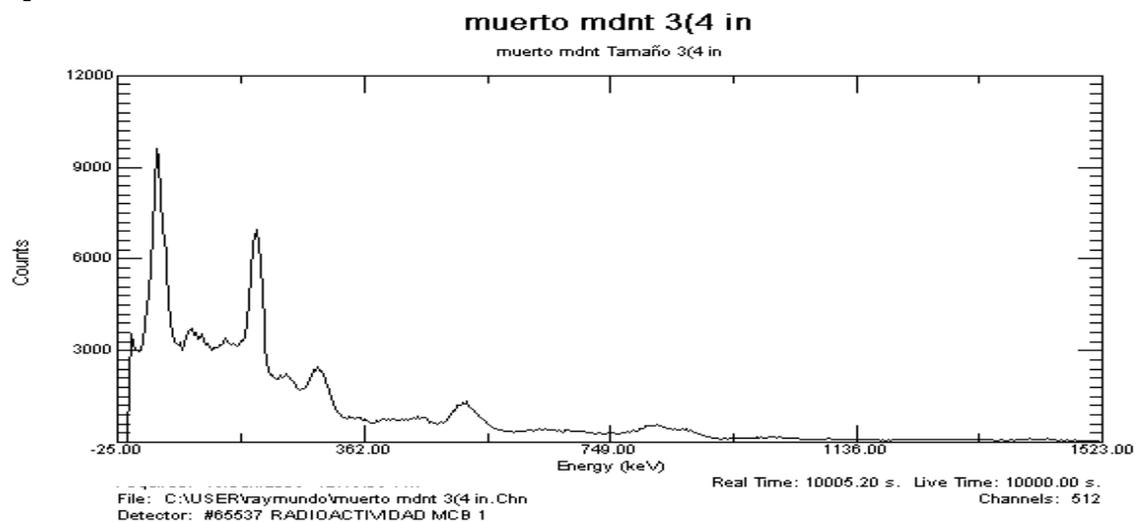


Fig. 20.- Mineral malla 3/4 in.

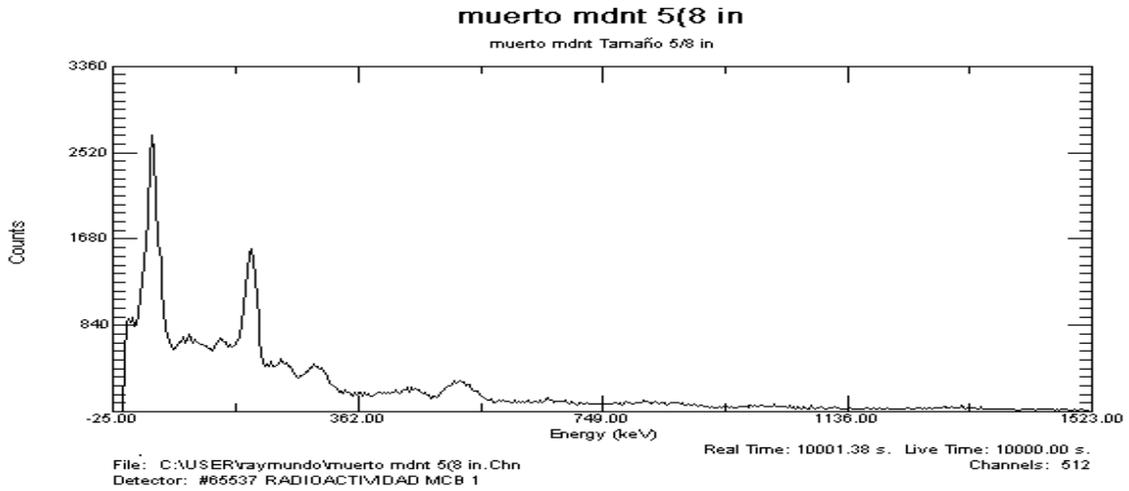


Fig. 21.- Mineral malla 5/8 in.

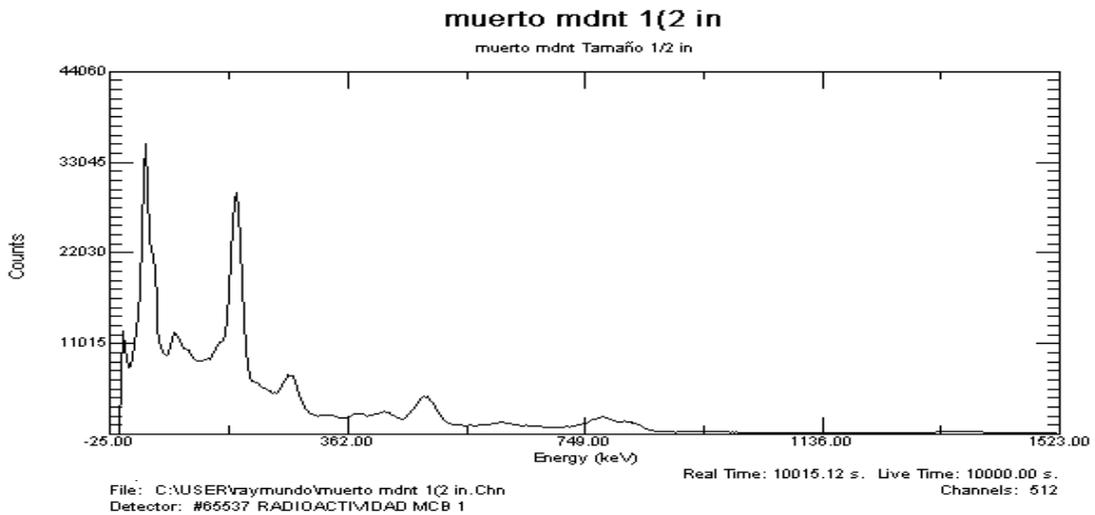


Fig. 22.- Mineral malla 1/2 in.

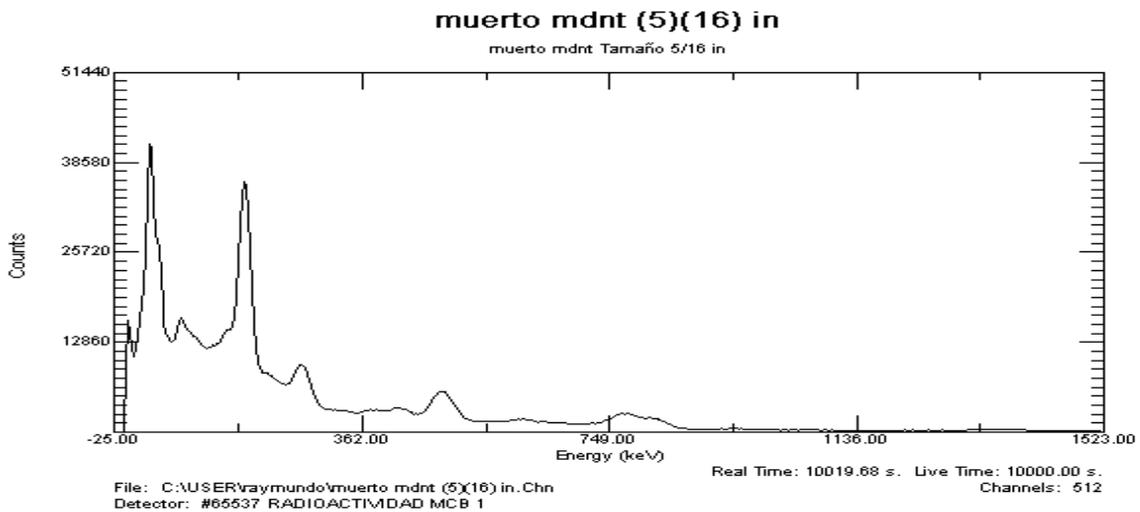


Fig. 23.- Mineral malla 5/16 in

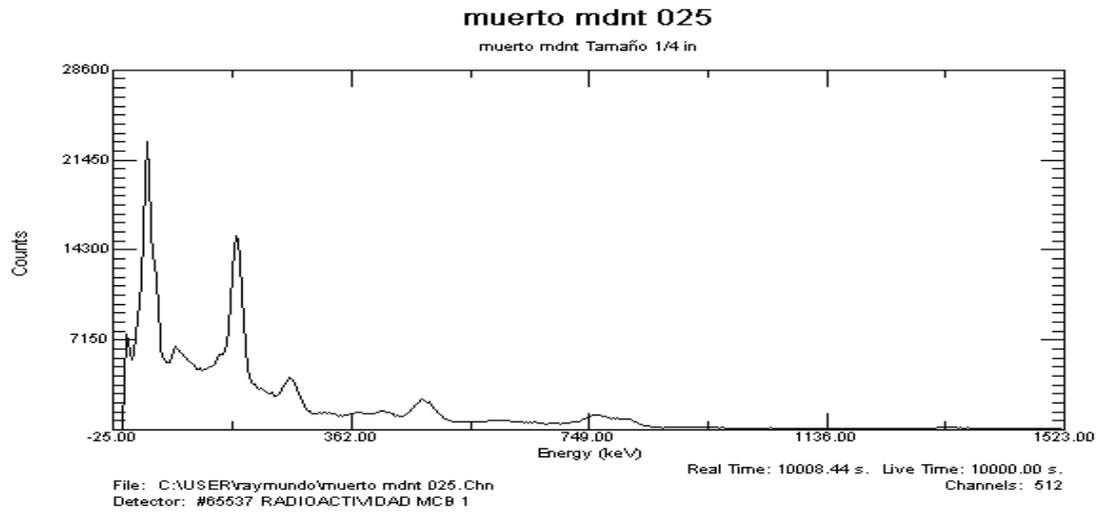


Fig. 24.- Mineral malla 0.25 in

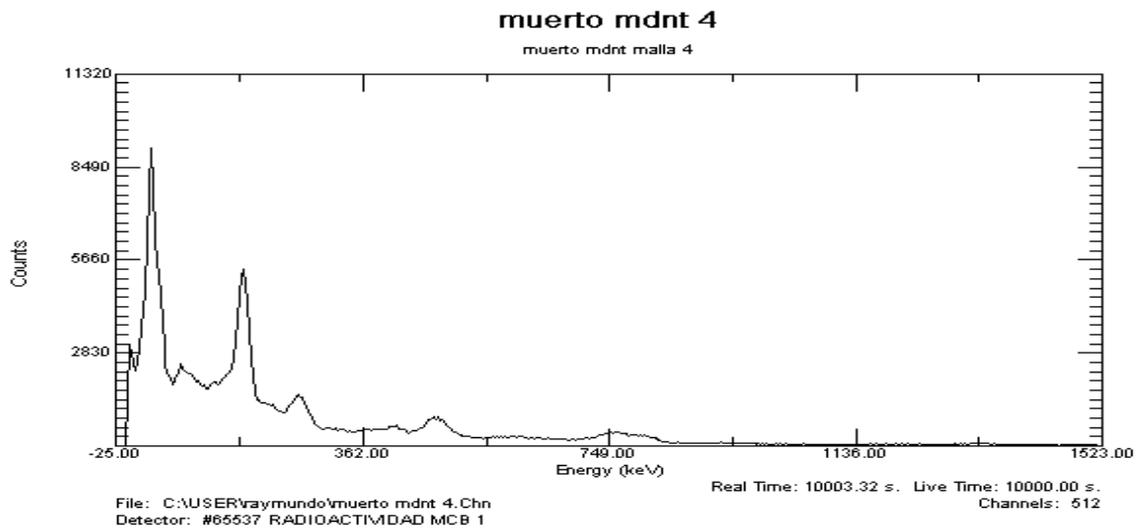


Fig. 25.- Mineral malla No 4.

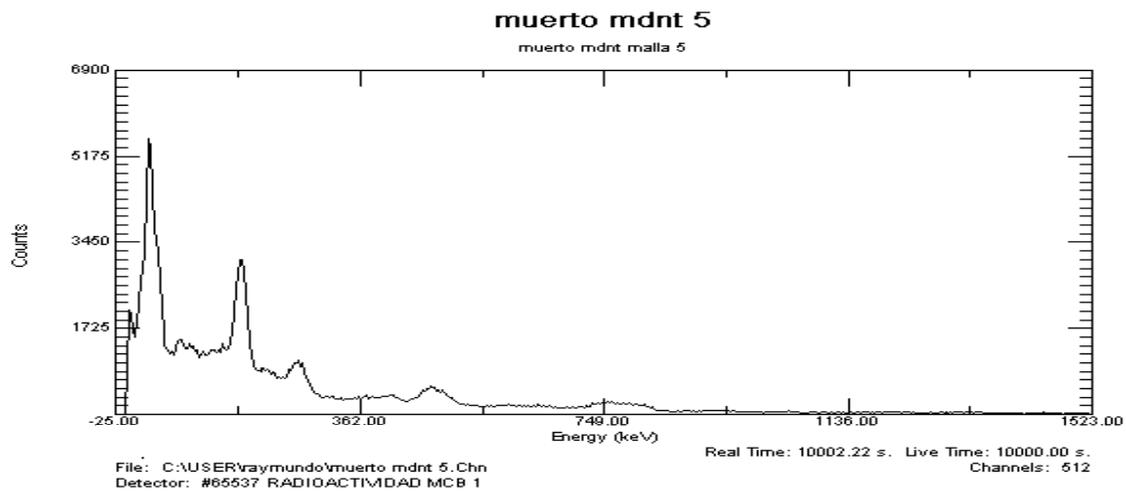


Fig. 26.- Mineral malla 5.

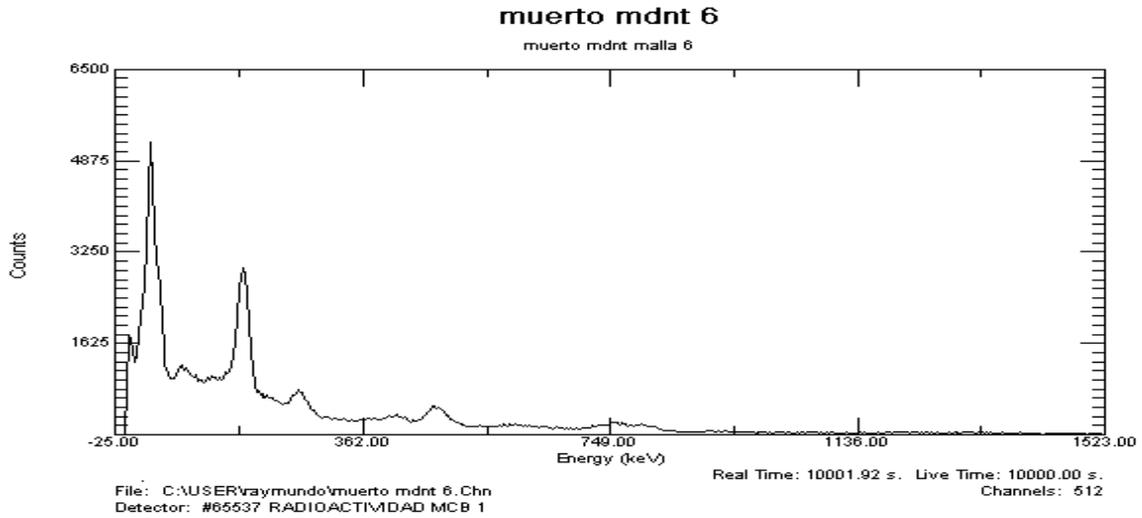


Fig. 27.- Mineral malla 6.

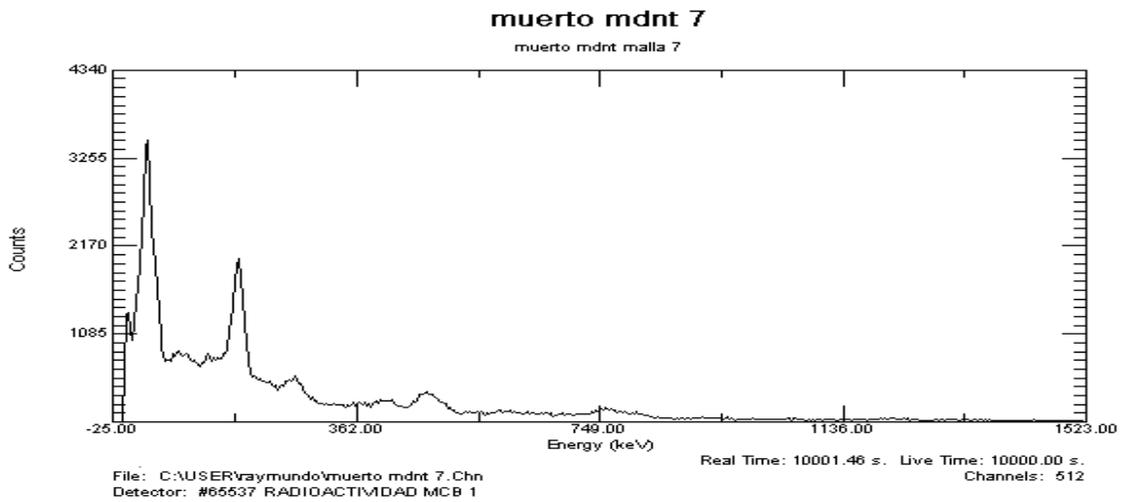


Fig. 28.- Mineral malla 7.

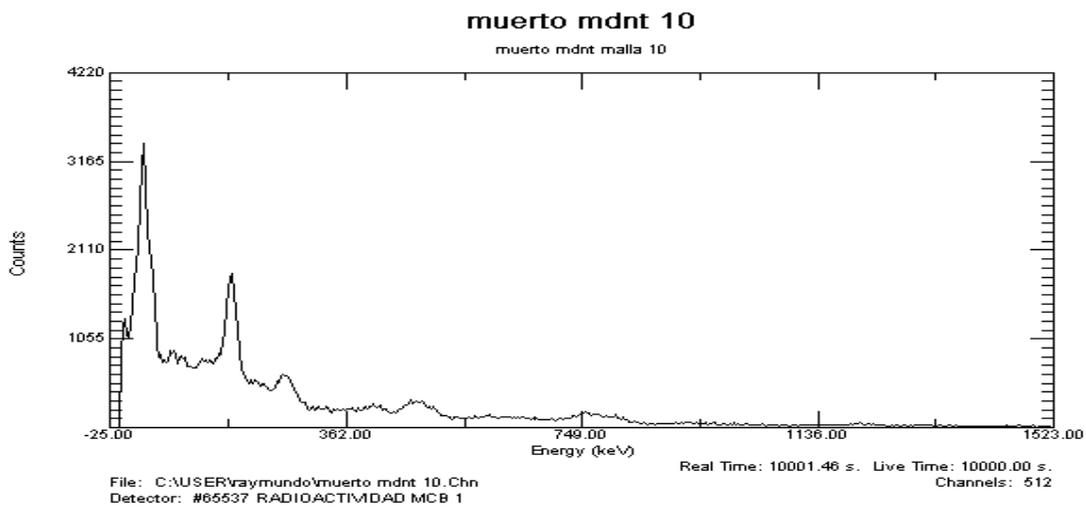


Fig. 29.- Mineral malla 10.

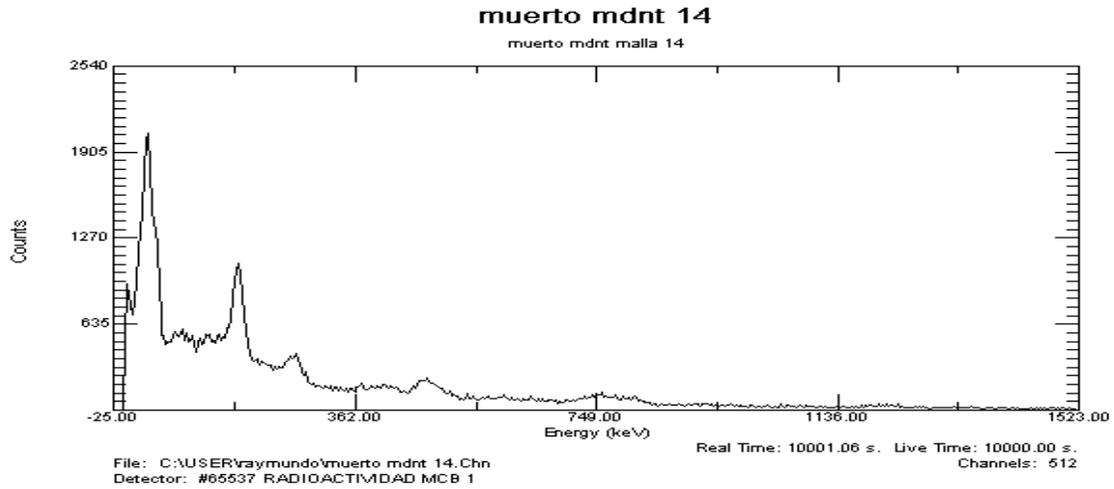


Fig. 30.- Mineral malla 14.

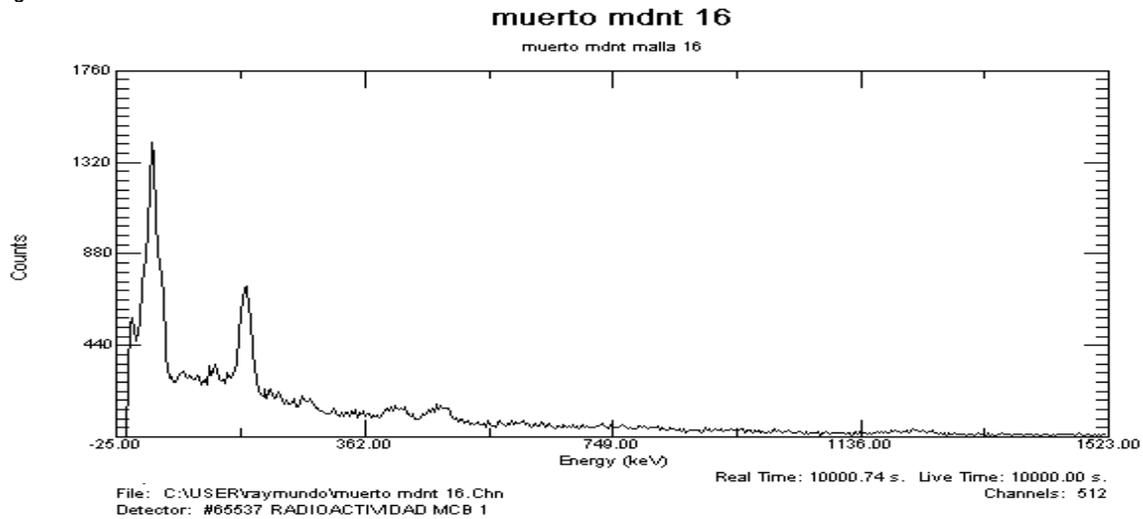


Fig. 31.- Mineral malla 16.

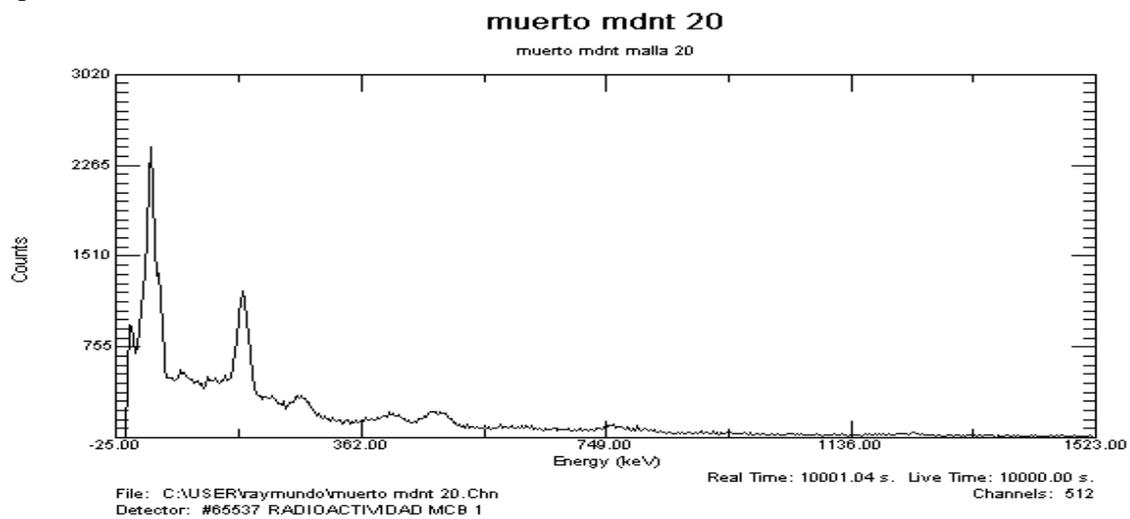


Fig. 32.- Mineral malla 20.

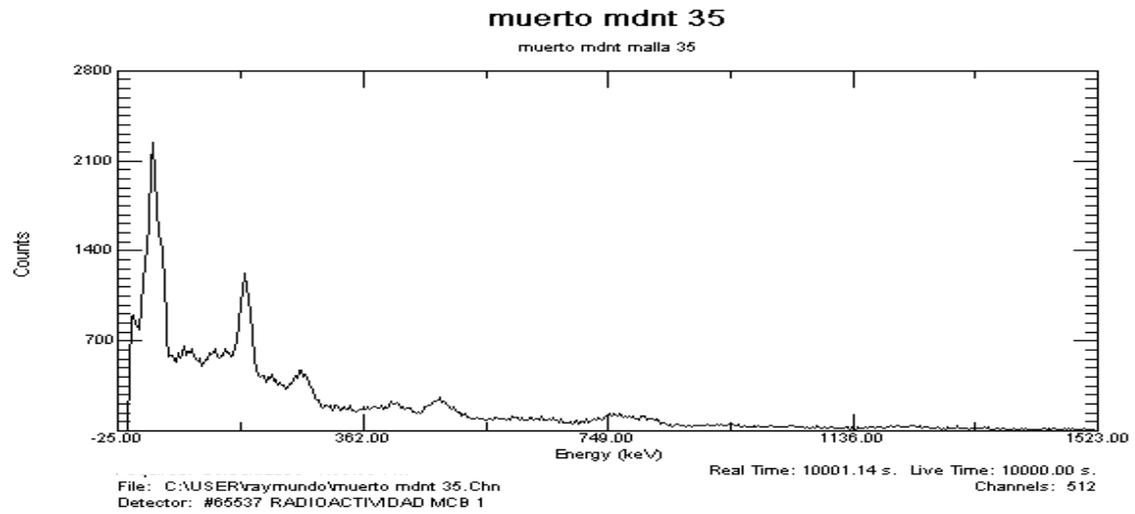


Fig. 33.- Mineral malla 35.

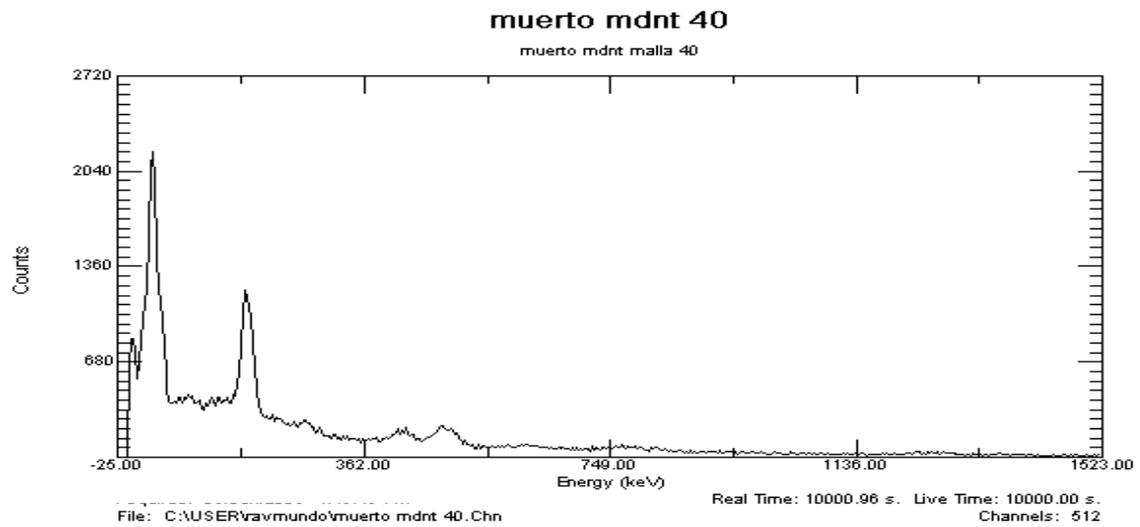


Fig. 34.- Mineral malla 40.

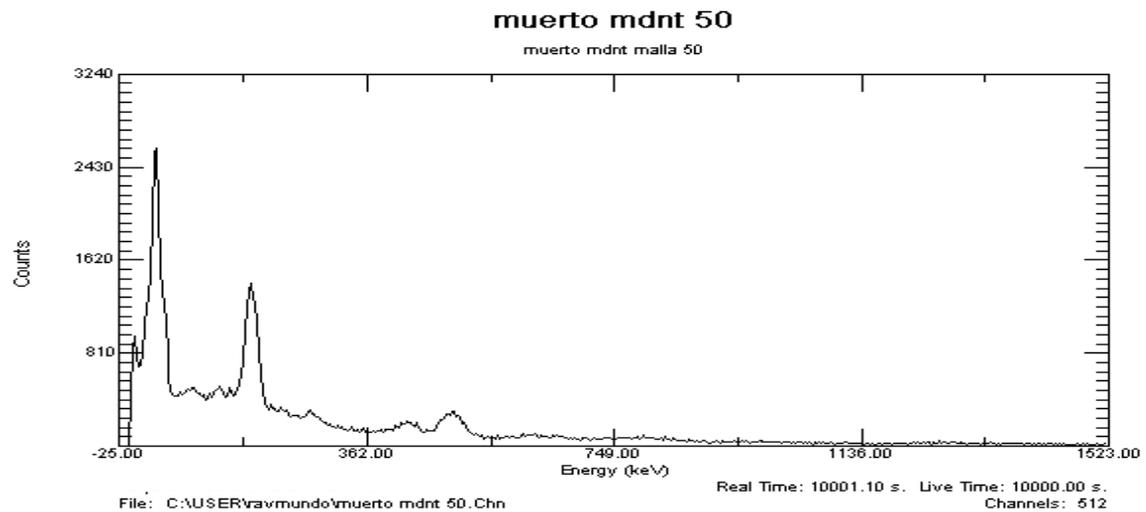


Fig. 35.- Mineral malla 50.

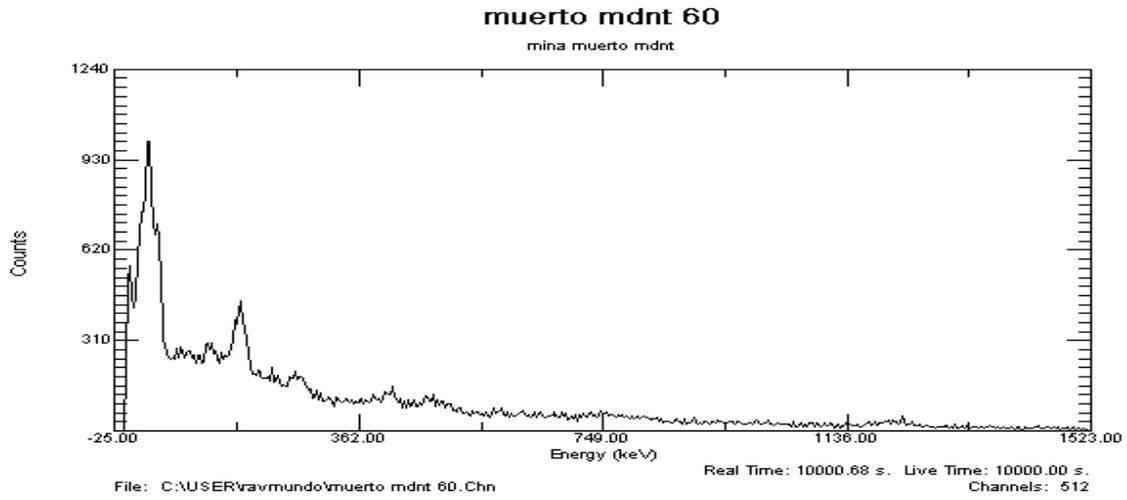


Fig. 36.- Mineral malla 60.

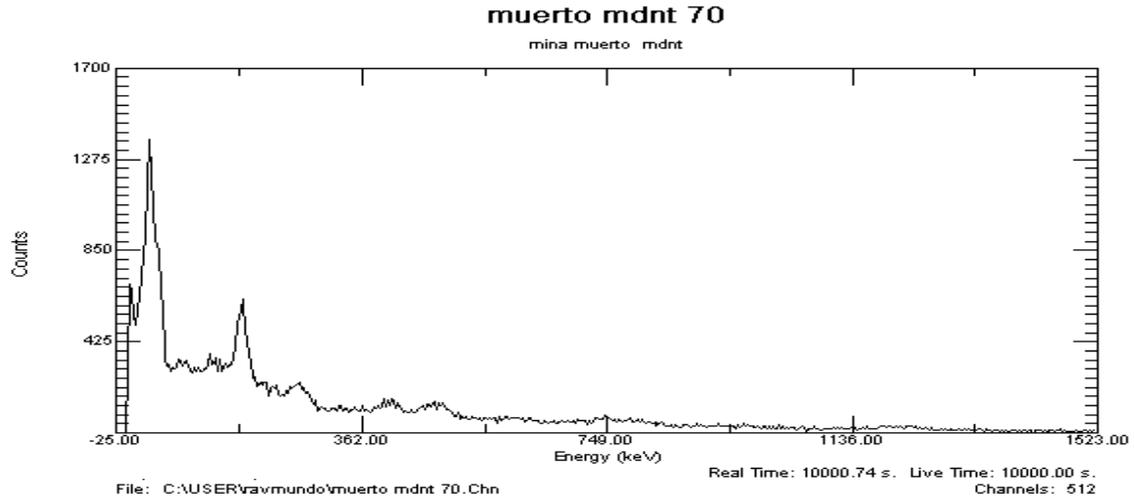


Fig. 37.- Mineral malla 70

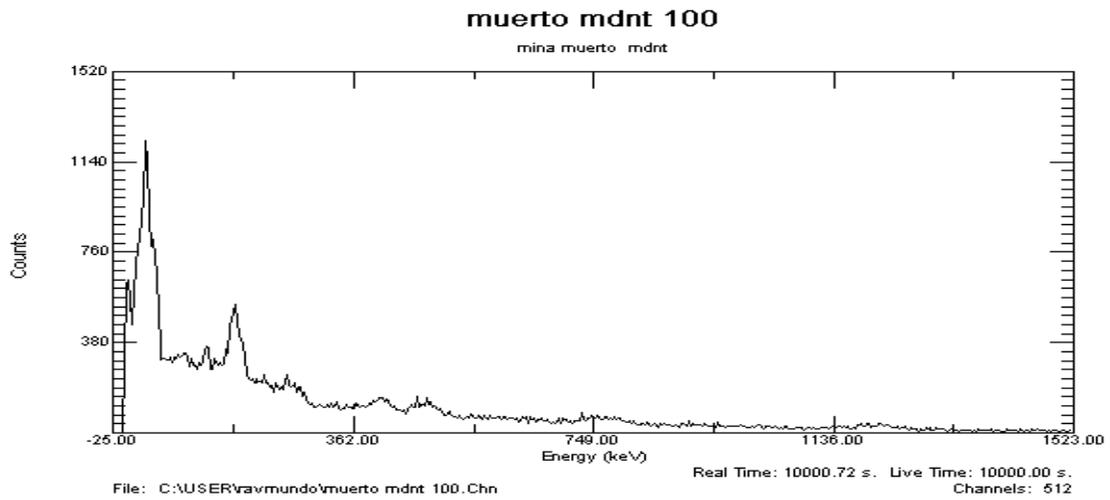


Fig.38- Mineral malla 100

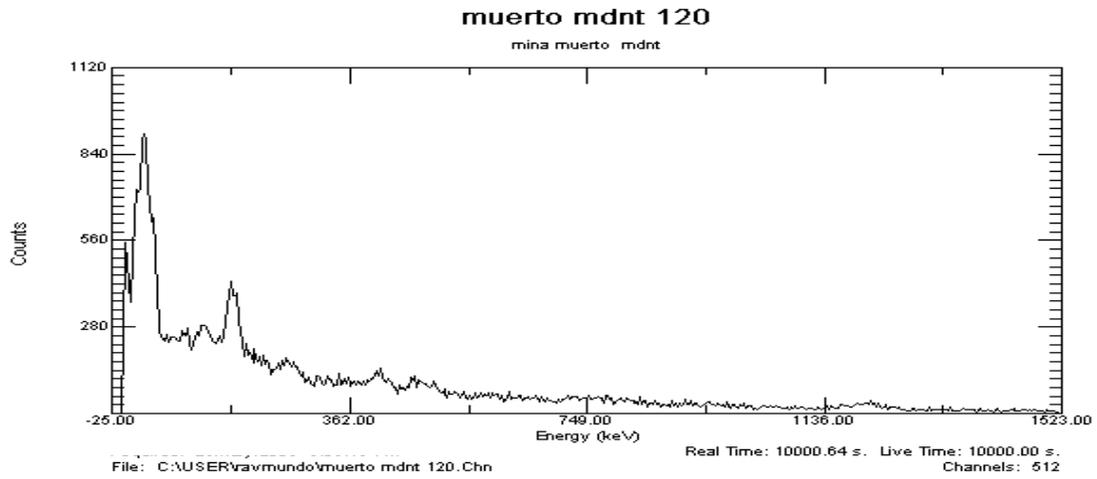


Fig. 39.- Mineral malla 120

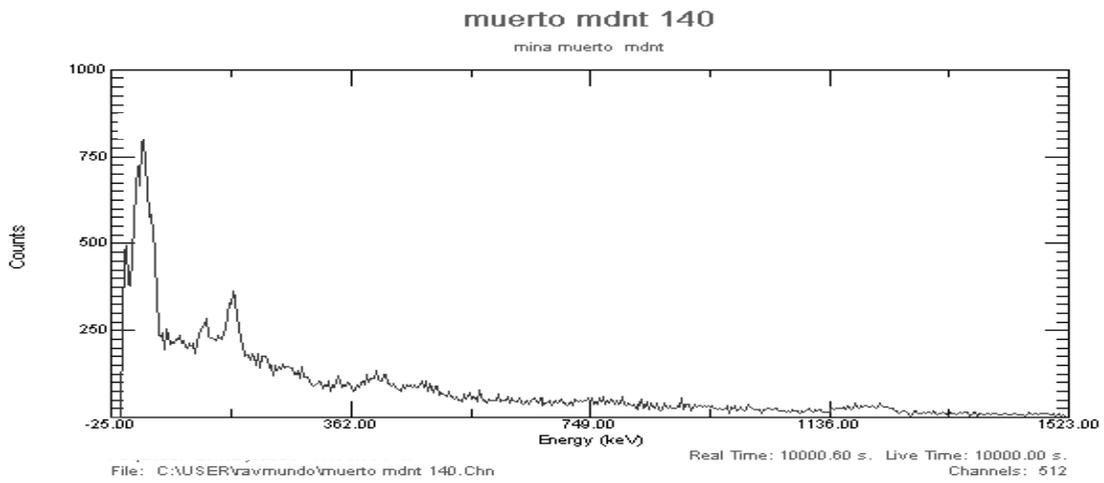


Fig. 40.- Mineral malla 140

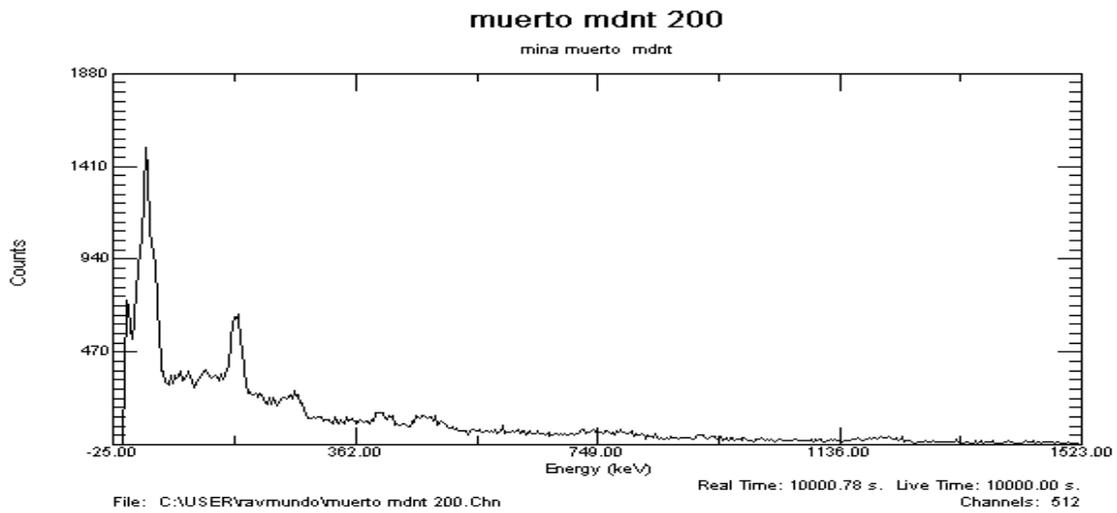


Fig. 41.- Mineral malla 200

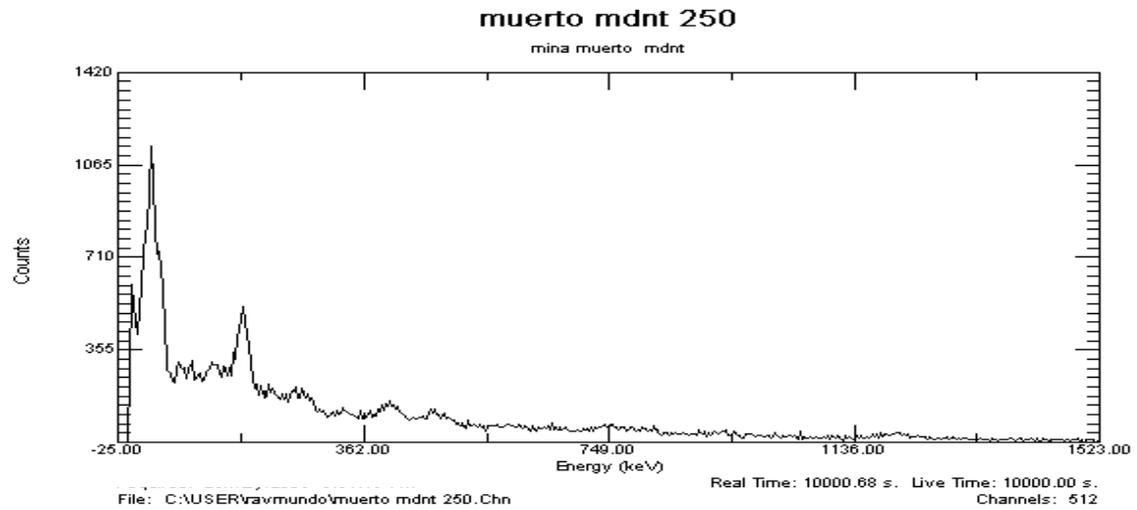


Fig. 42.- Mineral malla 250

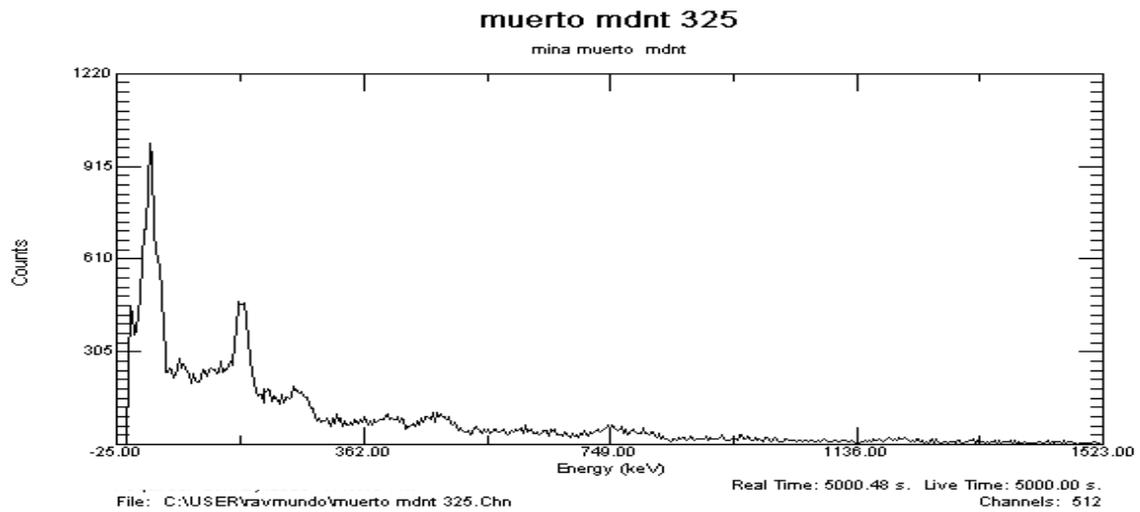


Fig. 43.- Mineral malla 325

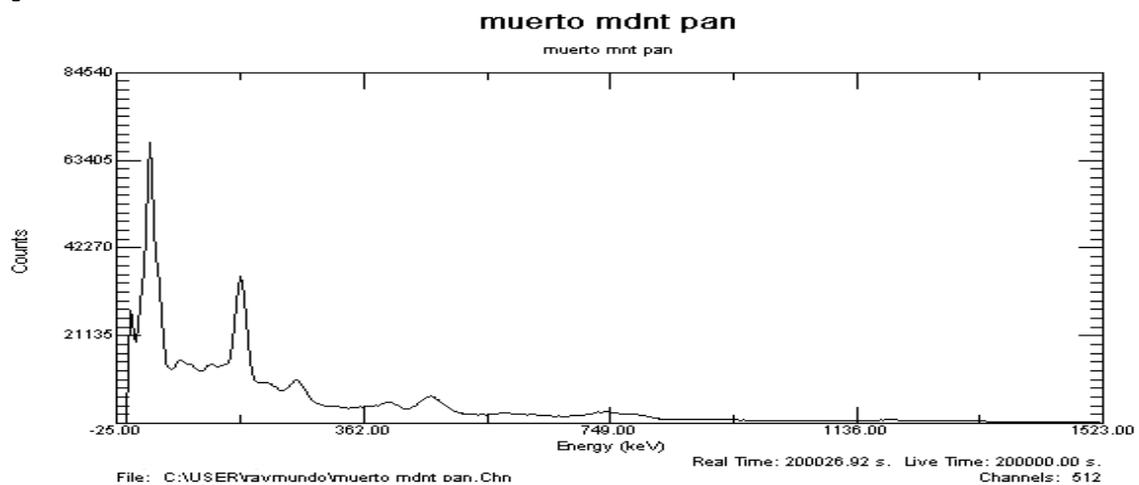


Fig. 44.- Mineral PAN.

MAGNETICO

mineral separado prueba 1

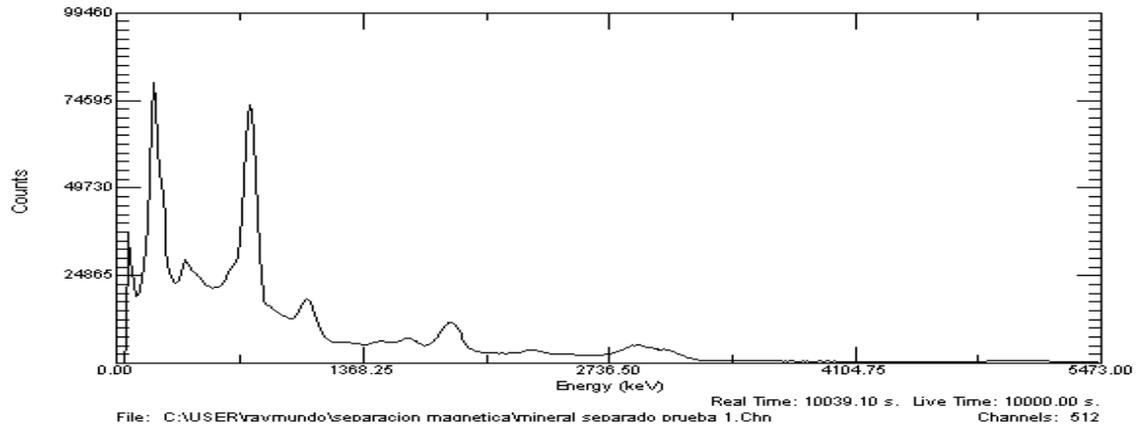


Fig. 45.- Mineral magnético prueba 1.

prueba 1 no magnetico

prueba 1 no magnetico

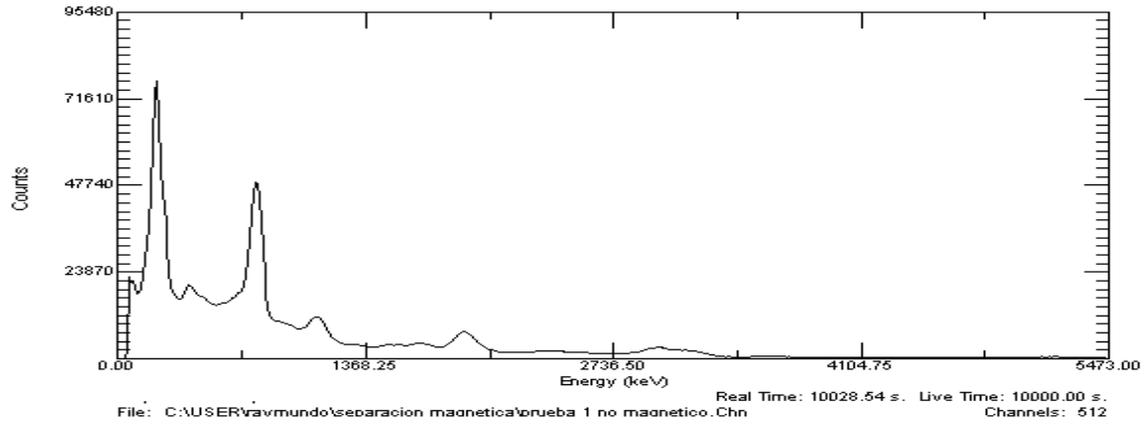


Fig. 46.- Mineral no magnético prueba 1.

prueba 2 magnetico

prueba 2 magnetico

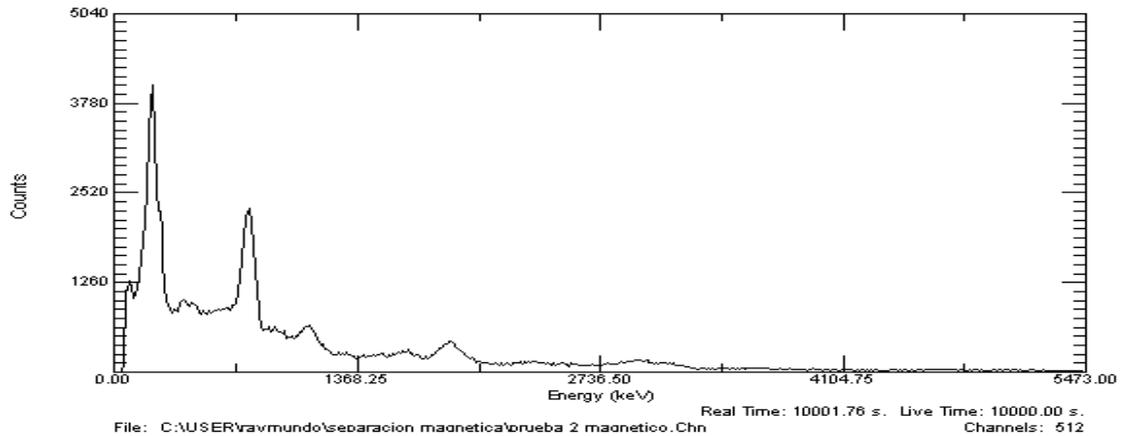


Fig. 47.- Mineral magnético prueba 2.

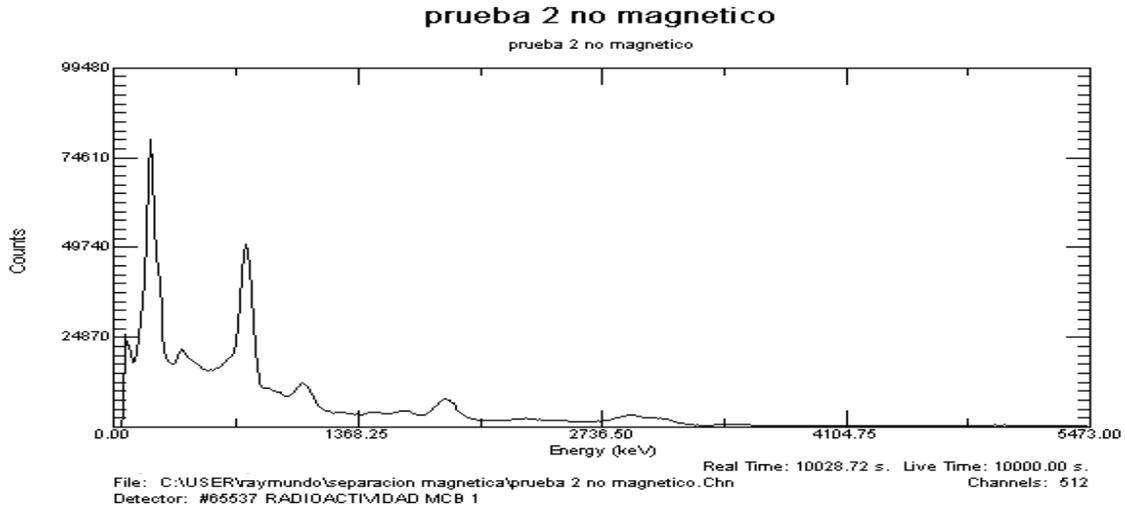


Fig. 48.- Mineral no magnético prueba 2.

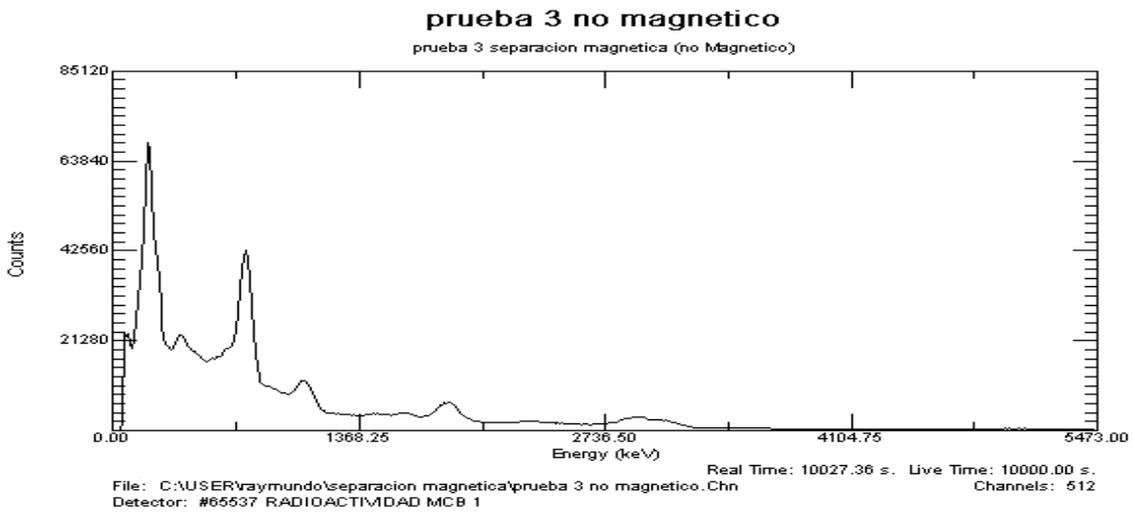


Fig. 49.- Mineral no magnético prueba 3.

PULSADORA

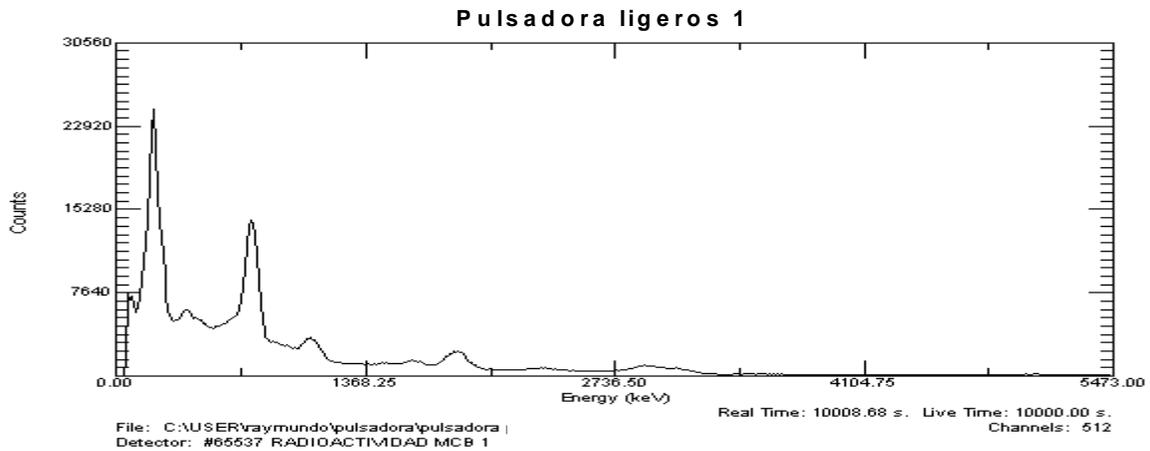


Fig. 50.- Pulsadora, ligeros prueba1

Pulsadora ligeros 2

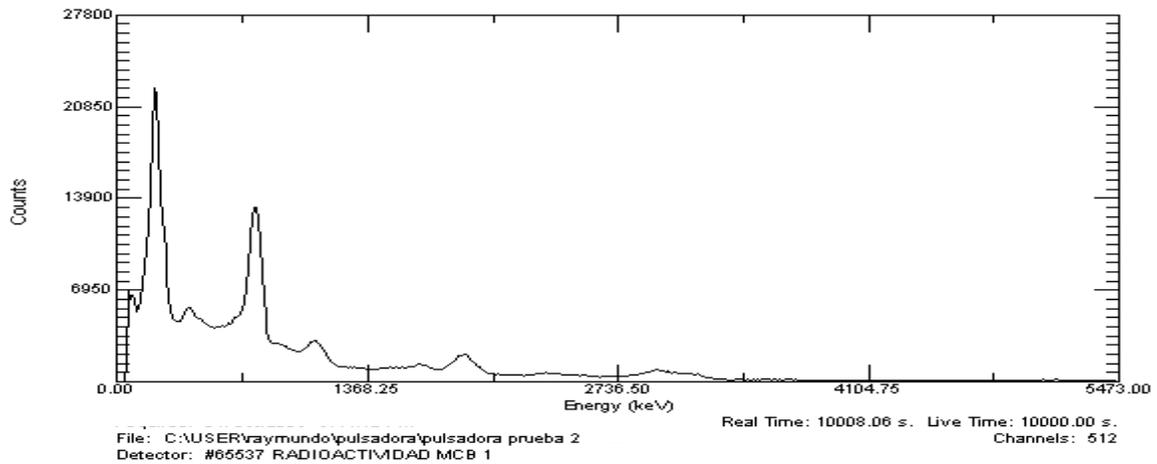


Fig. 51.- Pulsadora, ligeros prueba 2

Pulsadora densos 1

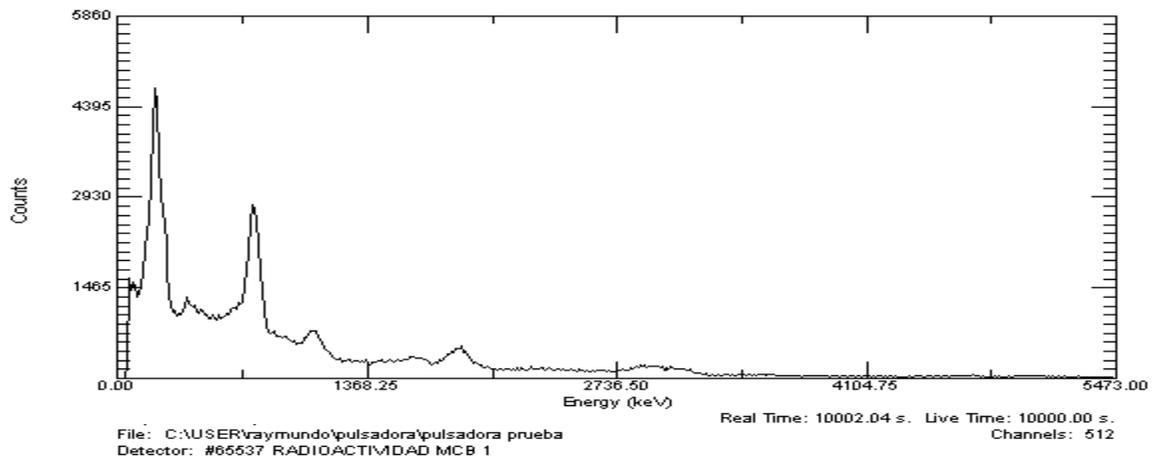


Fig. 52.- Pulsadora, densos. prueba 1

Pulsadora densos 2

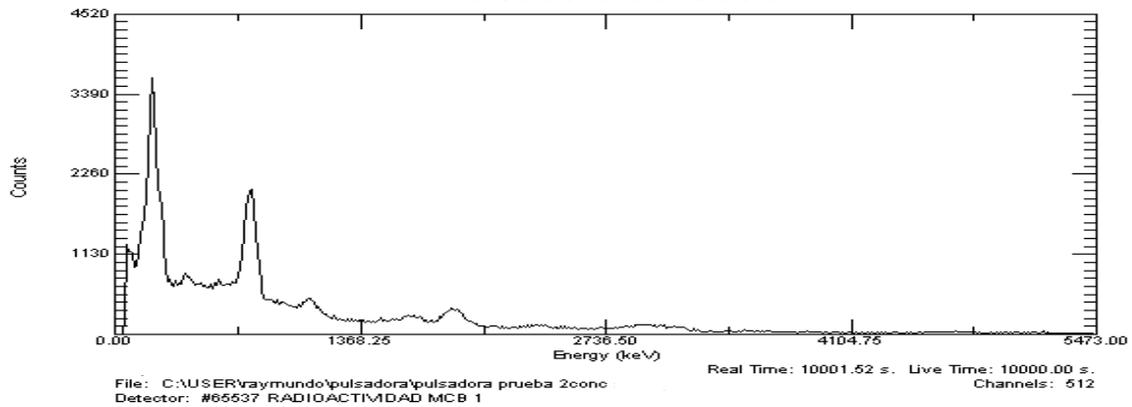


Fig. 53.- Pulsadora, densos. prueba 2

MESA WILFLEY

Mesa medios

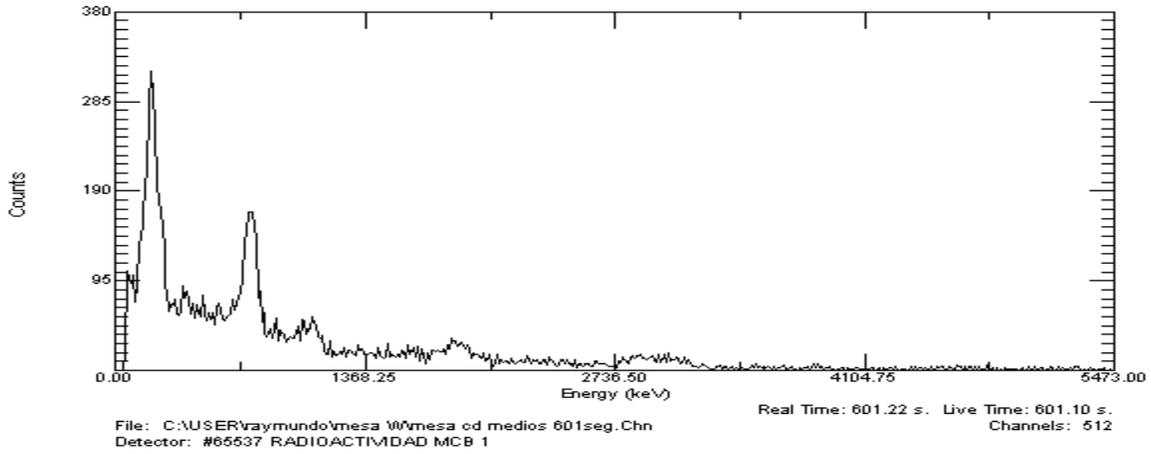


Fig. 54.- Mesa Wilfley medios

Mesa prueba 1 colas

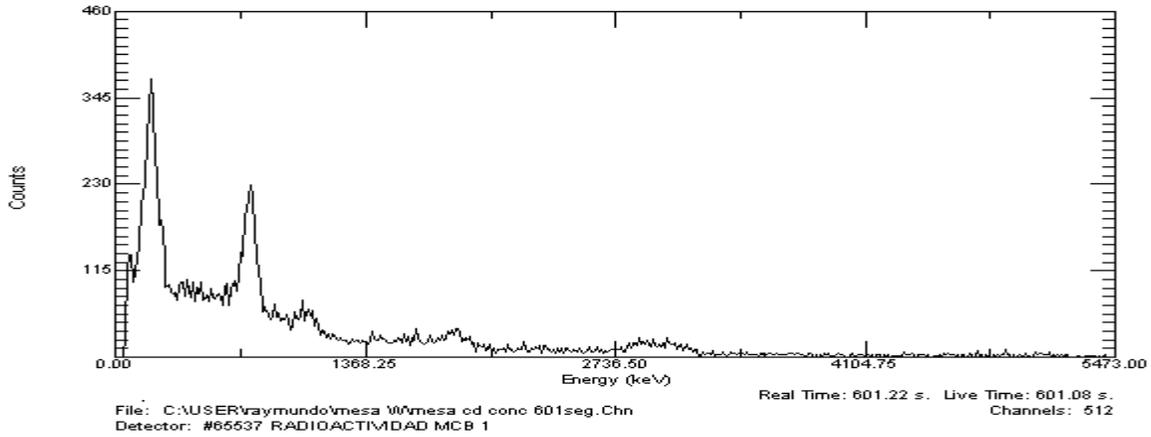


Fig. 55.- Mesa Wilfley colas.

Mesa prueba 2 colas

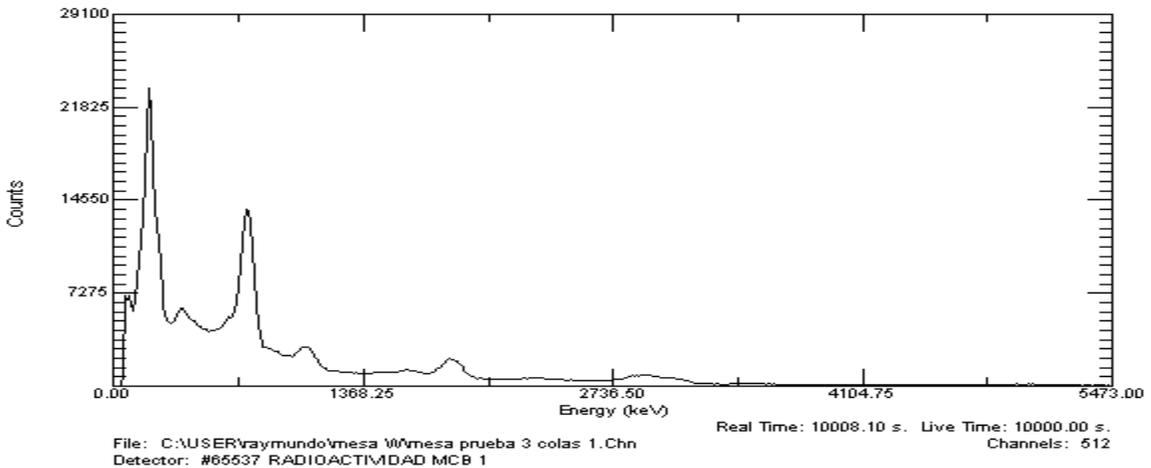


Fig. 56.- Mesa Wilfley colas. Prueba 2.

ELUTREADOR

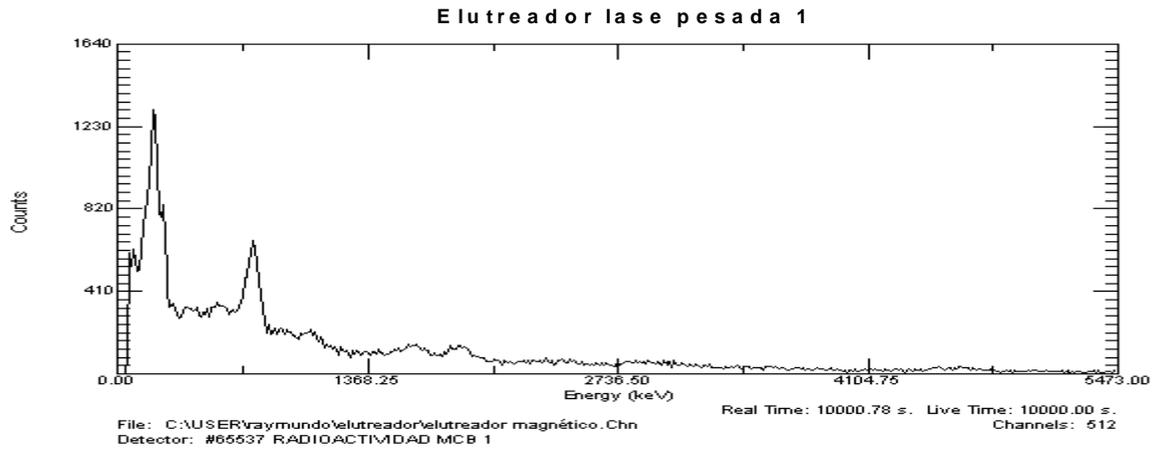


Fig. 57.- Elutreador fase pasada prueba 1

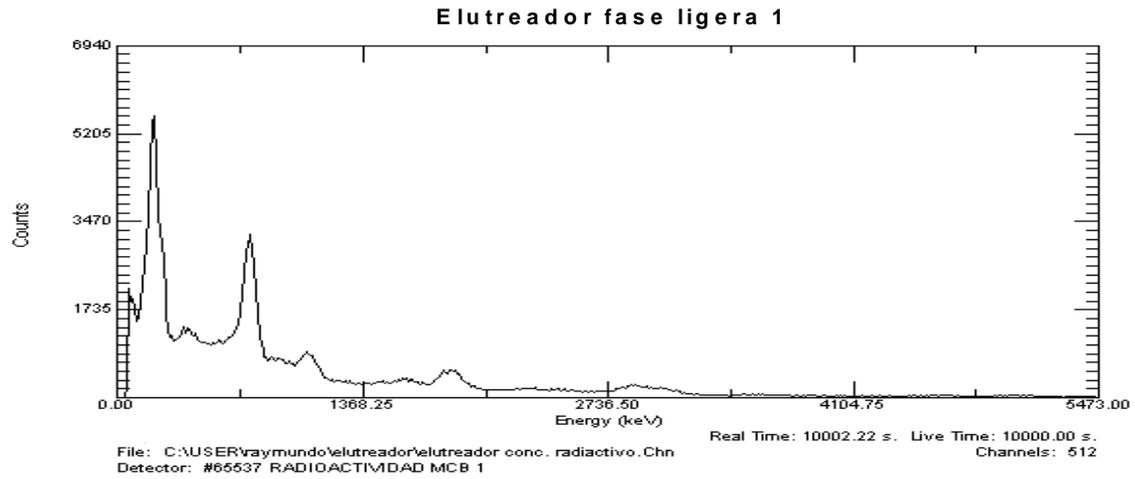


Fig. 58.- Elutreador fase ligera prueba 1

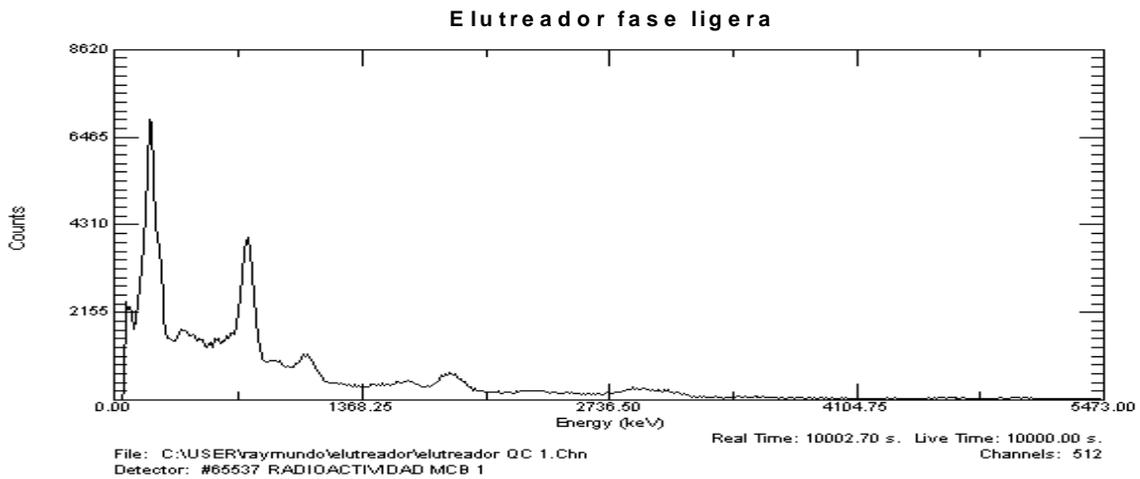


Fig. 59.- Elutreador fase ligera prueba 2

Se presentan a continuación varios espectros de DRx para las muestras magnéticas y no magnéticas del mineral separado.

Espectros de difracción de Rx al mineral

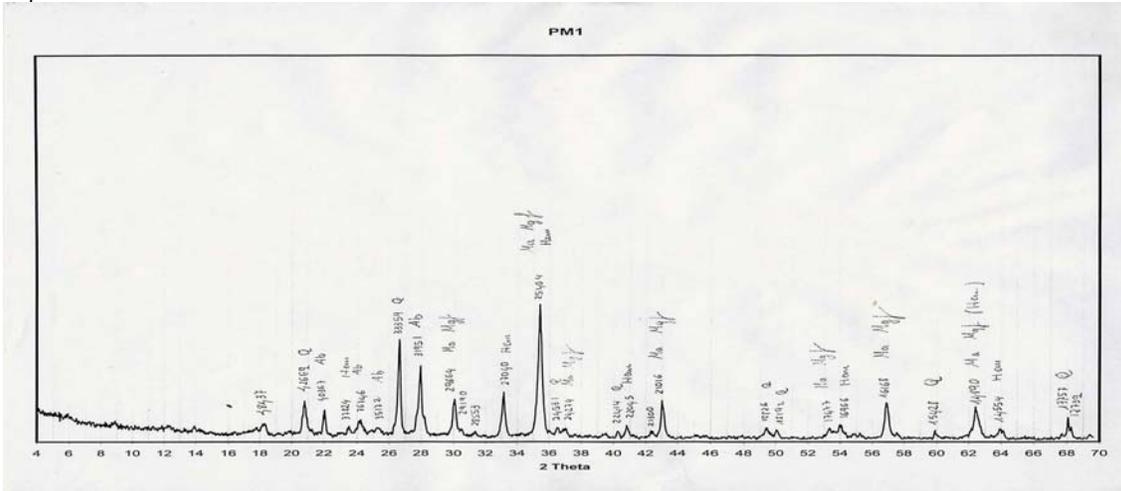


Fig.60.-separación magnética (no magnético) prueba1.

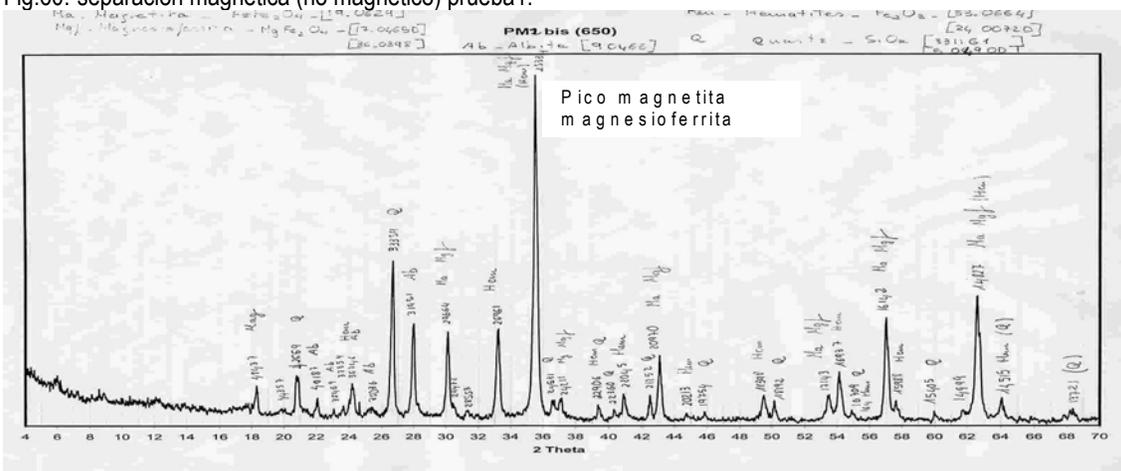


Fig. 61.- separación magnética (magnético) prueba 1.

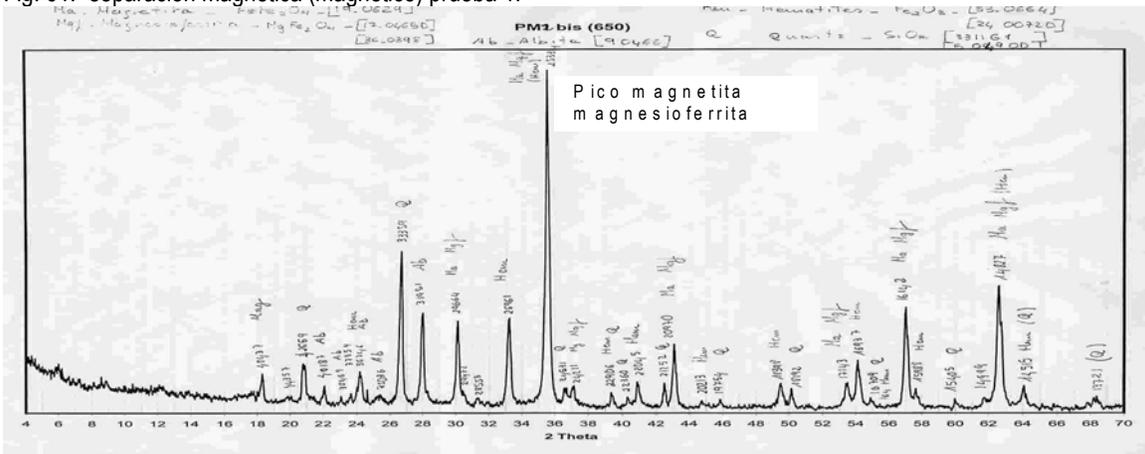


Fig. 62.- separación magnética (magnético) prueba 2.

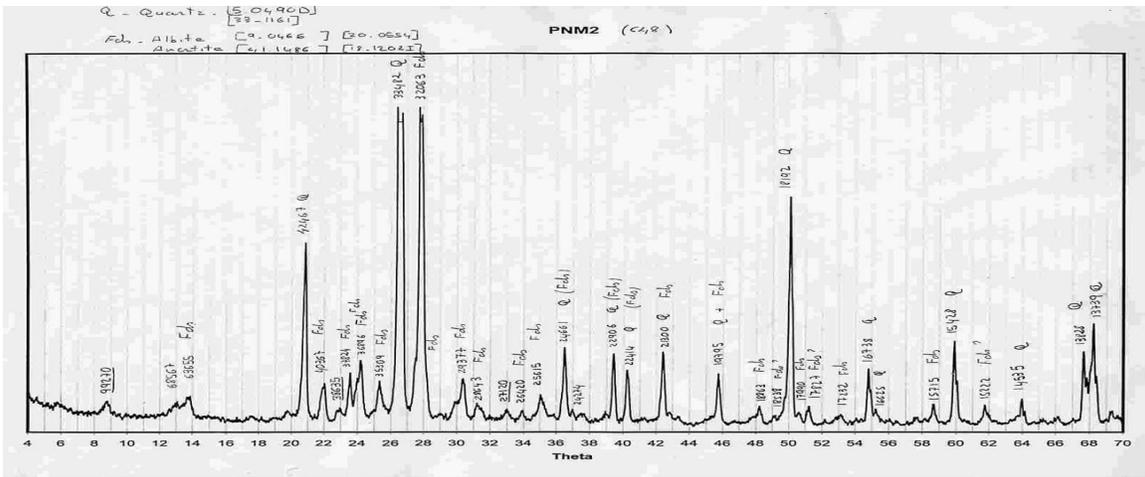


Fig. 63.- separación magnética (no magnético) prueba 2.