

# ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN RADIATIVA EMITIDA POR EL CRUDO QUE RECIBE LA REFINERÍA AMAZONAS

Lorena Checa, Patricio Peñaherrera  
lowilec@gmail.com; patriciopenaherrera@gmail.com

Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Casilla 17-01-3972

Recibido: 6 enero 2013      Aceptado: 7 Febrero 2013

## RESUMEN

El agua de formación y el petróleo crudo separado antes de la refinación, que recibe la refinería Amazonas – Ecuador, fueron sometidos a un análisis por espectrometría gamma. Las muestras fueron obtenidas en las estaciones de producción ubicadas en Shushufindi: Sur Oeste, Sur, Aguarico, Norte y Central.

El resultado de la actividad radiactiva para el agua de producción está en el rango de 94,1-123 Bq/l y están presentes los siguientes elementos radioactivos:  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{40}\text{K}$ . Para el petróleo crudo la concentración está en el rango 53,6-74,9 Bq/l y la actividad de sus elementos radiactivos es menor a la mínima detectable (MDA), que no representa un valor significativo por lo que puede ser despreciable, excepto la del  $^{40}\text{K}$ . Se evidencia que el agua de formación tiene una mayor contaminación de elementos radiactivos y que la radiación del petróleo crudo proviene fundamentalmente del  $^{40}\text{K}$ . En consecuencia, considerando la norma de protección establecido por UNSCEAR que permite una tasa de dosis máxima de 20 mSv/año (promediado en 5 años), los efectos de la radiación del agua o del petróleo crudo no son significativos para el personal ocupacionalmente expuesto (POE), público en general, ni para el ambiente.

**PALABRAS CLAVES:** Refinería Amazonas; petróleo crudo; agua de formación; contaminación por radiación; espectrometría gamma; elementos radioactivos.

## ABSTRACT

The formation water and the crude oil received by the Amazonas Refinery from Ecuador and separated before the refinement processes, were submitted to gamma spectrometry analysis. Samples from the following work stations placed at Shushufindi were obtained: South west, Aguarico, North and Central.

The results for the formation water are in the range of 94.1-123 Bq/l and the following elements were present:  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Tl}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{40}\text{K}$ . For the crude oil, the concentration is in the range of 53.6-74.9 Bq/l and the only element detectable was  $^{40}\text{K}$ . It was evidenced that the formation water

has the most contamination of radioactive elements and that the radiation from crude oil radiation comes from the  $^{40}\text{K}$ . The protection standard established by UNSCEAR allows a maximum dose rate of 20 mSv/year (5 year average), therefore the radiation effects of water or crude oil are not significant neither for the exposed occupationally personnel (EOP), the public in general or the environment.

**KEYWORDS:** Amazonas Refinery; crude oil; formation water; radiation contamination; gamma spectrometry; radioactive elements.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se realiza el análisis de los elementos radiactivos del petróleo crudo que es receptado por la Refinería Estatal Amazonas, con la finalidad de determinar el nivel de exposición, del personal ocupacionalmente expuesto (POE), del ambiente y del público en general.

Se debe considerar que los efectos biológicos de los radioisótopos dependen, de la actividad radiactiva, de las tasas de eliminación del radioisótopo, y del tipo de radiaciones que emita. Aparte de los efectos producidos por radiaciones también pueden aparecer efectos tóxicos debidos a la propia toxicidad química del material depositado.

Además, los efectos biológicos son de carácter somático así como genético, y, pueden ser estocásticos y determinísticos. Los efectos estocásticos son efectos probabilístico, a mayor dosis mayor la probabilidad de algún efecto a la salud (uno de estos efectos se relaciona con las mutaciones produciendo anormalidades hereditarias). Los efectos determinísticos son aquellos que se dan necesariamente a partir de una dosis determinada, significando que la gravedad depende de la dosis (anemia, caída de cabello, esterilidad, entre otros).

Para el propósito del estudio, se empleó la técnica de espectrometría gamma mediante un software de adquisición, MAESTRO 32 que usa algoritmos matemáticos, que permiten identificar los elementos presentes en la muestra y determinar su actividad radiactiva.

El petróleo crudo contiene dos elementos fácilmente identificables al momento de su explotación, el petróleo crudo propiamente dicho y el agua de formación que resulta de un proceso de separación previo a su refinamiento. Fue el tanque de lavado, el lugar propicio para obtener las muestras que serán sujetas de análisis.

En consecuencia, el presente trabajo, está enmarcado dentro de un análisis experimental de laboratorio que se fundamenta en el proceso de espectrometría para la determinación de los elementos radiactivos presentes en el petróleo crudo y su actividad radiactiva.

Las muestras obtenidas fueron caracterizadas mediante la densidad API y BSW, para determinar el tipo de petróleo crudo.

## 2. EXPERIMENTACIÓN

Se realizó la toma de muestras del petróleo crudo y el agua de formación, dentro de las estaciones de producción de mayor probabilidad de contaminación radiactiva como es el tanque de lavado (wash tank), en el área de Petroproducción que recepta la Refinería Amazonas. Estas muestras fueron sometidas a los siguientes análisis:

### 2.1. Caracterización físico-química del petróleo crudo

A las muestras se les realizaron los siguientes análisis:

a. Determinación de la densidad API mediante

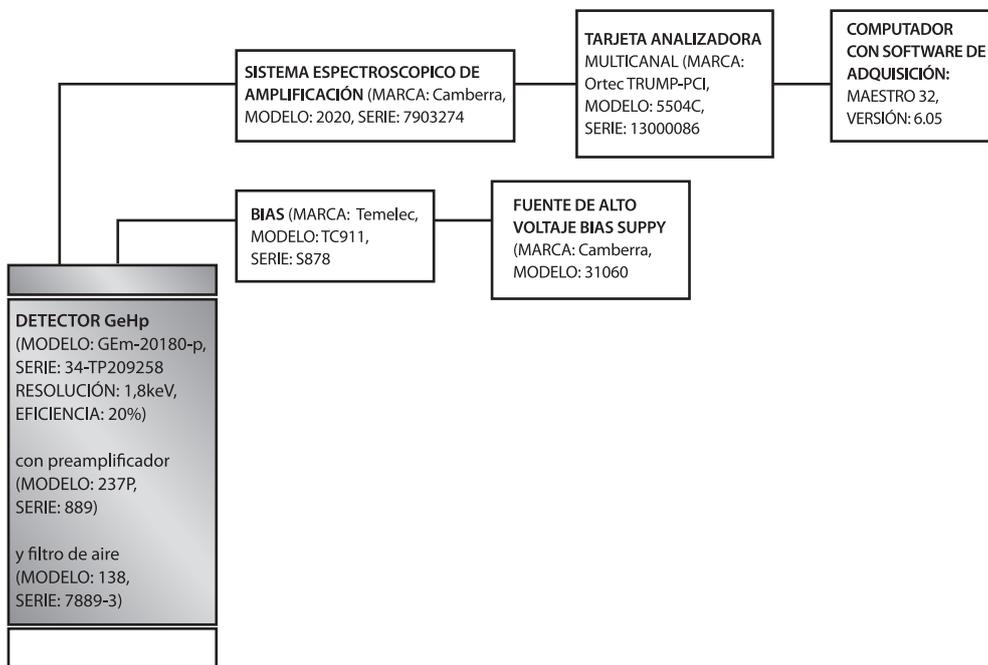
la Norma ASTM D 287-67 y la cantidad de agua y sedimentos (BSW) mediante la Norma ASTM D-96.

- b. Preparación de la muestra a las condiciones de trabajo del equipo de absorción atómica, para la determinación de metales presentes en la muestra.
- c. Obtener la cuantificación de los elementos al igual que sus propiedades presentes en la muestra de crudo.

## 2.2. Caracterización radioactiva del petróleo crudo

**2.2.1. Sistema de espectrometría gamma.** El sistema de espectrometría gamma utilizado, consta de:

- Detector de germanio hiperpuro,
- Módulo (biassupply) de 2500 v,
- Amplificador espectroscópico (spectroscopy amplifier), y
- Tarjeta multicanal instalada en el CPU en conjunto con el software MAESTRO 32.



**Figura 1.** Diagrama del sistema de espectrometría gamma

### 2.2.2. Procedimiento

- a) Para la calibración en energía se utilizaron fuentes de  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  y  $^{133}\text{Ba}$ .
- b) Para la calibración en eficiencia se utilizó una fuente patrón de geometría marinelli de 1 Litro constituido por una matriz de resina sintética con densidad similar a la del agua y que contiene homogéneamente distribuidos en su contenido los siguientes radionúcli-

dos:  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ ,  $^{203}\text{Hg}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{85}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{88}\text{Y}$  y  $^{60}\text{Co}$ .

- c) A continuación se realizó el análisis espectroscópico de las muestras por un tiempo adecuado.
- d) El análisis del espectro (identificación cuantitativa de los nucleídos presentes y el cálculo de las actividades radiactivas) se realiza con el programa GAMMAVISION.

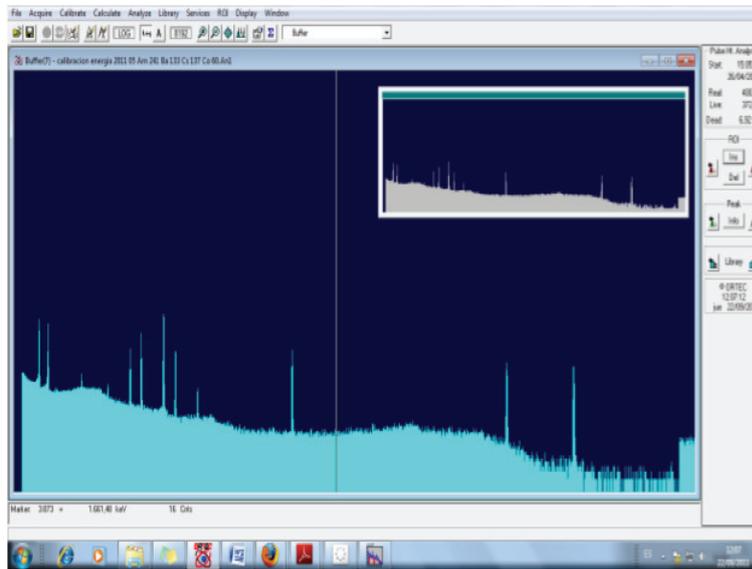


Figura 2. Espectro con las fuentes de  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  y  $^{133}\text{Ba}$

#### 4. RESULTADOS

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica del petróleo crudo

CAMPO	LUGAR	BSW	BSW POR DESTILACIÓN	BSW TOTAL	API OBS. / TEM.	API 60° F
		%	%	%	°API / °F	°API
SHHUSHUFINDI	ESTACIÓN SSF SUR	0,1	0,25	0,252	30,2 / 70	29,5
	ESTACIÓN SSF SUR OESTE	0,2	0,7	0,739	26,2 / 70	25,6
	SSF CENTRAL	0,1	0,1	0,126	26,3 / 69	25,7
	ESTACIÓN SSF NORTE	0,3	0,35	0,377	29,5 / 70	28,8
	ESTACIÓN AGUARICO	0,2	0,3	0,326	31,4 / 70	30,7

**Tabla 2.** Actividad de los elementos radiactivos del agua de formación y el petróleo crudo

RADIOISOTOPOS		ACTIVIDAD (Bq/l )								
MUESTRAS		<sup>40</sup> K	<sup>212</sup> Pb	<sup>214</sup> Pb	<sup>208</sup> Tl	<sup>207</sup> Bi	<sup>214</sup> Bi	<sup>226</sup> Ra	<sup>234</sup> Th	<sup>238</sup> U
AGUA DE FORMACIÓN	A1	90,286	9,40	1,2894	4,29	-	2,99	14,966	-	-
	A2	82,158	-	5,0477	-	-	6,5062	-	-	-
	A3	76,044	1,4527	7,9442	0,74646	-	6,5836	-	-	-
	A4	74,409	1,3411	8,3811	0,96502	-	7,2237	-	-	-
	A5	88,854	-	6,5412	1,434	-	6,4232	-	-	-
PETRÓLEO CRUDO	P1	74,857	8,823	-	-	-	-	8,233	-	-
	P2	53,599	-	-	0,556	-	9,198	-	-	-
	P3	69,9507	-	1,096	-	0,42	1,051	1,061	6,558	-
	P4	68,085	9,332	9,264	-	-	1,054	-	-	-
	P5	57,747	0,8626	-	3,407	-	-	-	-	1,082

**Tabla 3.** Actividad radiactiva total

ESTACIÓN	ACTIVIDAD TOTAL (Bq/l)	
	Agua de Formación	Petróleo Crudo
SUR-OESTE	123	74,9
SUR	94,1	53,6
AGUARICO	95,7	69,5
NORTE	95,3	68,1
CENTRAL	104	57,7

**Tabla 4.** Identificación de radioisótopos y la actividad, mínima detectable (MDA) en los espectros de rayos gamma

Energía (keV)	Radioisótopo	Origen	AGUA DE FORMACION - PETROLEO (Bq/l)				
			SUR OESTE	SUR	AGUARICO	NORTE	CENTRAL
186,10	<sup>235</sup> U, <sup>226</sup> Ra	<sup>235</sup> U, <sup>238</sup> U	8,13-0,0		0,0-0,11		0,0-1,08
238,63	<sup>212</sup> Pb	<sup>232</sup> Th	5,01-8,82		0,51-0,0	0,59-9,33	0,0-0,83
258,79	<sup>214</sup> Pb	<sup>238</sup> U			26-0,0		
295,21	<sup>214</sup> Pb	<sup>238</sup> U				1,61-0,0	
351,92	<sup>214</sup> Pb	<sup>238</sup> U	1,08-8,23	3,94-0,0	0,0-1,1	0,0-9,26	6,18-0,0
583,14	<sup>208</sup> Tl	<sup>232</sup> Th	3,45-0,0	0,0-0,56	0,62-0,0	0,54-0,0	0,66-3,41
609,32	<sup>214</sup> Bi	<sup>226</sup> Ra	0,76-0,0	1,13-9,20	0,0-1,05	7-1,05	1,28-0,0
1377,65	<sup>214</sup> Bi	<sup>238</sup> U			11,6-0,0		
1461,00	<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> K	5,17-4,03	4,17-3,91	5,03-4,51	5,14-3,59	4,06-3,35

**Tabla 5.** Tasa de dosis total del agua de formación y el petróleo crudo

ESTACIONES	TASA DE DOSIS TOTAL	
	Agua de Formación	Petróleo
SUR-OESTE	0,000200281	0,00026864
SUR	0,000416623	0,00020739
AGUARICO	0,000282563	0,00024944
NORTE	0,000647196	0,00024433
CENTRAL	0,000535699	0,00020723

## 5. DISCUSIÓN

- Por lo general, en laboratorios de espectrometría de rayos gamma se tiene la limitante en cuanto al número disponible de estándares certificados en actividad de diferentes densidades que iguale a las densidades de las muestras, esto lleva a la situación de que la auto absorción de los fotones dentro de las muestras puede ser muy diferente al estándar de calibración, para evitar errores en la determinación de la concentración en actividad para energías menores a 200 keV. Por lo tanto, se consideró dentro de los cálculos del presente trabajo el factor de corrección por auto absorción o atenuación para la espectrometría de rayos gamma.
- Los resultados de espectrometría gamma indican los elementos radiactivos presentes en las diversas cadenas de desintegración.

## 6. CONCLUSIONES

- Las mediciones de los espectros de rayos gamma del petróleo crudo y el agua de formación presentan 9 posibles líneas de rango de energía de 186,10 a 1461,00 keV que corresponden a las series de decaimiento del  $^{238}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ , así como del  $^{40}\text{K}$ . Los fotopicos presentes tienen una baja intensidad y su origen se debe primordialmente a la radiación de fondo. En la Tabla 4 se presentan los rayos gamma identificados en los espectros, su origen y actividad mínima detectable-MDA de acuerdo a la sensibilidad del sistema de medición.
- Los resultados indican que la actividad total y la representación de elementos radiactivos son mayores para el agua de formación en comparación con las del petróleo crudo, concluyendo así que el petróleo crudo analizado no presenta problema en cuanto a contaminación radiactiva ya que toda la cantidad es por presencia del radioisótopo  $^{40}\text{K}$ . Una tasa de dosis máxima permitida es de 20 mSv/año, por consiguiente sus efectos determinísticos

no son detectables y se reduce la probabilidad de los efectos estocásticos.

- De los resultados de la caracterización fisicoquímica de las muestras respectivas, se evidencia que el  $^{\circ}\text{API}$  y BSW para cada estación están definidos dentro del campo de producción petrolífero y son parámetros importantes de fluidez y pureza, pero no fue un factor influyente de acuerdo con la caracterización radiológica ya que es necesario conocer las condiciones físicas a las cuales será sometido el producto.

## AGRADECIMIENTO

A la Subsecretaría de Control, Investigación y Aplicaciones Nucleares, por su colaboración en esta investigación y en especial a la Dra. Nancy Mantilla, Dr. Omar Suárez, Ing. Alejandro González y al Ing. Jorge Bastidas.

## BIBLIOGRAFÍA

- CAMPBELL, Jorge Richard; Cameras Ross, Ricardo. *La Ciencia para todos*. En: Las radiaciones y el manejo de las radiaciones nucleares [en línea]. 2° edición. México, D. F. 1999, Fondo de cultura económica. ISBN 968-16-59-27-9. [Fecha de consulta: 18 de marzo de 2011]. Disponible en: [http://intranet.mateematicas.uady.mx/portal/leamos\\_ciencia/VOLUMEN\\_II/ciencia3/094/htm/radia2.htm](http://intranet.mateematicas.uady.mx/portal/leamos_ciencia/VOLUMEN_II/ciencia3/094/htm/radia2.htm).
- CANO, Daniel. *Alfa, beta, gamma*. En *Ciencia y tecnología nuclear* [en línea]. BLOGS Madrid. 2006. [Fecha de consulta: 2010, Diciembre 4]. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/ciencianuclear/2006/12/01/53391>.
- DEBERTIN, Klaus; HELMER, Richard. *Gamma and Ray Spectrometry with Semiconductor Detectors*. New York: Elsevier, 1988. 405 p.
- ENVIRONMENTAL Measurements Laboratory. *Radionuclide Data*. 28th edition. Section 5, vol. I. New York: U.S. Department of

- Energy, february 1997. 44 p.
- GARCÍA, Ángel. *Mecánica cuántica en desintegración radiactiva* [en línea]. Nueva versión del Curso Interactivo de Física en Internet. 2010. [Fecha de consulta: 12 de enero de 2011]. Disponible en <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/desintegracion/radio.htm>
  - GARZÓN Ruiperez, L. *Cadena de desintegración Radiactividad y medio ambiente* [en línea]. Universidad de Oviedo. 1979 ISBN 84-7468-015-8. [Fecha de consulta: 12 de enero de 2011]. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Cadena\\_de\\_desintegraci%C3%B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Cadena_de_desintegraci%C3%B3n).
  - UNSCEAR. *Sources and Effects of Ionizing Radiation: Report to the General Assembly with scientific annexes, vol. II: Scientific annexes C, D and E*. New York: United Nations Publication, 2008. 49 p.