

# *Tecnología limpia en la separación de partículas de cobalto 60, manganeso 56 y zinc 65 de aceites contaminados*

Cuauhtémoc Enrique Gutiérrez Rivera<sup>1,2\*</sup>, Pedro Avila Perez<sup>1</sup>, Elena Rosa Domínguez<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Carretera México-Toluca, 52750 Edo. de México

<sup>2</sup>Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas, Facultad de Química y Farmacia, Cuba

*Magnetic fields applied to oily liquids with radionuclides*

*Tecnologia neta en la separació de partícules de cobalt 60, manganès 56 i zinc 65 d'olis contaminats*

*Recibido: 17 de diciembre de 2009; revisado: 4 de abril de 2010; aceptadas: 28 de septiembre de 2010*

## RESUMEN

En los reactores nucleares BWR, se producen aceites lubricantes contaminados con partículas radioactivas que pueden contener: <sup>54</sup>Mn, <sup>58</sup>Co, <sup>59</sup>Fe, <sup>60</sup>Co, <sup>65</sup>Zn, <sup>134</sup>Cs o <sup>137</sup>Cs. Estos aceites pueden ser descontaminados por diversos procesos, como destilación, centrifugación, ósmosis, decantación, filtración, destrucción bacteriana, etc., sin embargo estos tratamientos son caros y riesgosos por contener elementos radioactivos en el aceite y agua. En este trabajo se aplican campos magnéticos en combinación con técnicas tradicionales de separación, en la descontaminación de aceites lubricantes provenientes de reactores nucleares BWR contaminados con partículas de <sup>60</sup>Co, <sup>54</sup>Mn y <sup>65</sup>Zn [6]. Los isótopos <sup>54</sup>Mn y <sup>65</sup>Zn debido a su vida media habían desaparecido, según análisis.

**Palabras clave:** Campo Magnético, Radionúclidos, Cavitación, Aceites radioactivos, Legislación ambiental

## SUMMARY

The potential risks enclosing radioactive wastes from the nuclear industry have been recognized, and therefore many comprehensive proposals have been implemented by researchers all over the world for managing these wastes. In this work we describe the process of separation of Co-60 oils used in BWR-type nuclear reactors, using magnetic fields, set up on a device especially designed for that purpose. With this process it is possible to separate particles of Co-60 up to  $1 \times 10^{-5} \mu\text{m}$ . This paper descri-

bes the separation process of Co-60 from the oils used in nuclear reactors and the device designed for this purpose.

**Words key:** Magnetic field, radionuclides, cavitation, oil radioactive environmental law

## RESUM

En els reactors nuclears BWR, es generen olis lubricants contaminats amb partícules radioactives que poden contenir <sup>54</sup>Mn, <sup>58</sup>Co, <sup>59</sup>Fe, <sup>60</sup>Co, <sup>65</sup>Zn, <sup>134</sup>Cs o <sup>137</sup>Cs. Aquests olis es poden sotmetre a descontaminació mitjançant diversos processos, tals com destil·lació, centrifugació, osmosi, decantació, filtració, destrucció bacteriana i d'altres; tanmateix, aquests tractaments són cars i comporten riscos per la presència d'elements radioactius en l'oli i l'aigua. En aquest treball, s'apliquen camps magnètics en combinació amb tècniques tradicionals de separació en la descontaminació d'olis lubricants provinents de reactors nuclears BWR contaminats amb partícules de <sup>60</sup>Co, <sup>54</sup>Mn i <sup>65</sup>Zn [6]. Els isòtops <sup>54</sup>Mn i <sup>65</sup>Zn ja havien desaparegut com a resultat de la seva vida mitjana, d'acord amb les anàlisis.

**Mots clau:** Camp Magnètic, Radionúclids, Cavitació, Olis radioactius, Legislació ambiental

\* Autor para la correspondencia:  
enrique.gutierrez@inin.gob.mx

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria nuclear, por ser relativamente reciente en la escena mundial, ha podido beneficiarse de las enseñanzas aprendidas en otras industrias. En particular, desde sus inicios se reconocieron los riesgos potenciales que encierran los desechos radiactivos y a medida que fue necesario se propusieron y aplicaron amplios planes de gestión de estos desechos.

En los reactores nucleares BWR, figura 1, se producen aceites lubricantes contaminados con partículas radioactivas que pueden contener:  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  o  $^{137}\text{Cs}$ . Estas partículas son producidas en las tuberías del ciclo termodinámico del reactor nuclear, en donde la presión del vapor seco trasmite su energía a las turbinas de alta y baja presión y cuando se condensa ese vapor regresa al reactor, sin embargo, bajo estas condiciones de trabajo se produce cavitación, esto es el descascaramiento interno del tubo durante cada ciclo. Estos materiales de desprendimiento están expuestos al flujo de neutrones al pasar a través del núcleo del reactor, produciéndose las partículas radioactivas. Para retirar estos materiales de desprendimiento son utilizados aceites lubricantes los cuales son cambiados periódicamente, una vez al año, convirtiéndose en desechos radioactivos porque contienen radionúclidos en forma de partículas. [2,3,5]. Los aceites radioactivos son almacenados en bidones y poseen actividades del orden de  $1 \times 10^{-4}$  Bq/mL.

Estos aceites pueden ser descontaminados por diversos procesos; como destilación, centrifugación, ósmosis, decantación, filtración, destrucción bacteriana, etc., sin embargo estos tratamientos son caros y riesgosos por contener elementos radioactivos en el aceite y agua. En este trabajo se presenta la aplicación de campos magnéticos en combinación con técnicas tradicionales de separación, en la descontaminación de aceites lubricantes provenientes de reactores nucleares BWR contaminados con partículas de  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$  y  $^{65}\text{Zn}$  [6], los elementos  $^{54}\text{Mn}$  y  $^{65}\text{Zn}$  por tener vida media más corta han decaído.

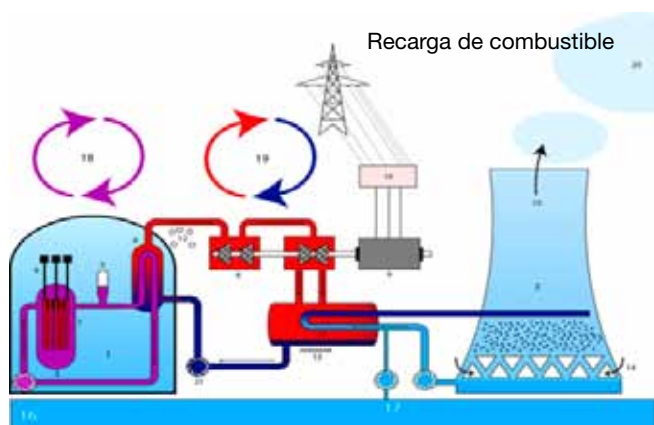


Fig. 1. Un Reactor nuclear del tipo BWR y sus procesos de sistema caliente y frío.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Caracterización radiológica inicial

En el departamento de Desechos Radiactivos de Aceites Ligeros se trataron 11 bidones de 200 L de aceites lubricantes provenientes de una central nuclear, los cuales fueron caracterizados radiológica, química y físicamente. Para la caracterización radiológica se tomaron alícuotas de 500 ml de cada bidón en un equipo de Ge-Hi acoplado a un multicanal contenido en una PC, se cuantificaron en Marinellis por 20 minutos. Los resultados obtenidos se presentan en la sección de resultados.\*

### 2.2 Caracterización física inicial

Las alícuotas fueron analizadas en un microscopio analizador de imágenes "Universal Imaging Corporation". Este sistema permite obtener el tamaño de la partícula, su longitud, ancho, número de partículas, rugosidad, orientación, etc. Las 11 alícuotas de aceites lubricantes contaminados fueron analizadas en este equipo, los resultados se presentan en la siguiente sección.

### 2.3 Descontaminación

El proceso de descontaminación de aceites consta de tres fases de separación que permiten eliminar las partículas metálicas radiactivas de los aceites:

- En la primera fase se separan objetos gruesos contenidos en los aceites, como por ejemplo herramientas, pedazos de varillas, pedazos de metal, etc., mediante un filtro de manga.
- En la segunda fase, los aceites son bombeados hacia a la mesa con imanes a una velocidad constante hasta que el aceite esté uniformemente distribuido. Los imanes atraen a las partículas metálicas radiactivas de tamaños aproximados de  $10^{-4}$   $\mu\text{m}$ , adhiriéndose en las paredes de la mesa, y pasando el aceite hacia el tercer sistema de filtrado, con ayuda del sistema de bombeo.
- En la tercera y última fase se tiene el sistema de filtrado, que consta de una serie de filtros de diferentes porosidades que permiten eliminar las partículas finas que aún se encuentran en el aceite.

### 2.4 Caracterización radiológica final

Finalmente se toma una alícuota de este filtrado para cuantificar su actividad final con un equipo de espectrometría gamma (Ge-Hi) o un centellador líquido o por análisis neutrónico.

### 2.5 Caracterización física final

La muestra después de su doble tratamiento y caracterización esta lista para ser reutilizado, almacenado o mezclado con combustible en las sementeras, normalmente el aceite guarda sus características como densidad y viscosidad.

### 2.6 Deposición final

De la caracterización radiológica final se obtiene que el aceite cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-004-NUCL-1994 "Clasificación de los desechos radiactivos". En el caso de que la norma no se cumpla se repite el ciclo de separación previamente descrito. En cuanto a los lodos recuperados de la mesa con imanes y de los filtros, estos son envasados en bidones de plástico y de

metal, como desechos radiactivos. El proceso descrito se esquematiza en la figura 2. El valor de la norma marca 0.0 Bq/mL a 3.0 Bq/mL.

### 2.7 Equipos utilizados para verificar actividad radiactiva.

Para hacer medidas se utilizo el contador EVERLINE ESP-1 (Núm. de serie 527)

Un Ge-Hp (Germanio Hiperpuro) con sonda y CPU. Con hardware

Un sistema de Espectrometría Gamma con Detector de He-Hp.

Un sistema de espectrometría de alto vació con CPU para análisis químico y visualización.

Un sistema de microscopio de cuerpos completos con sistema computacional en CPU

Un sistema de Centelleo Líquido marca Packard modelo 4530.

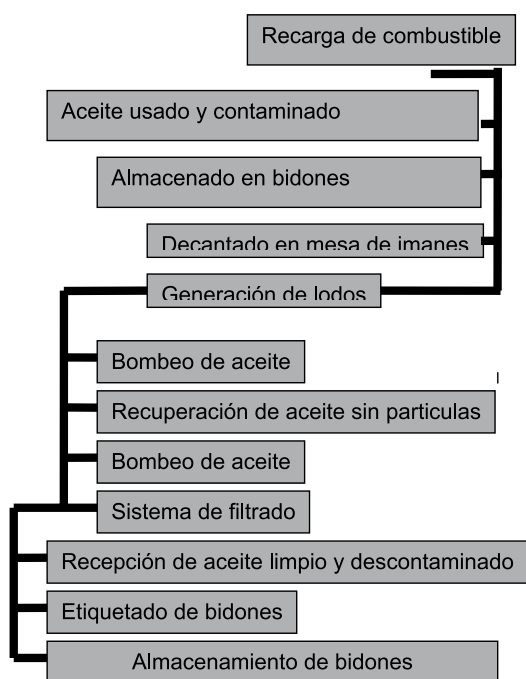


Fig. Núm. 2 Esquema del proceso.

## 3.RESULTADOS

### 3.1 Caracterización radiológica

La Tabla 1 muestra los resultados de la caracterización radiológica, en donde se verifica que estos aceites únicamente están contaminados con Co-60, variando sus actividades desde 3.7 Bq hasta 634.7 Bq. Estos resultados se corroboraron con un análisis cualitativo realizado mediante la técnica de análisis por activación neutrónica a una de las alícuotas. La figura 3 presenta el espectro gamma obtenido de este estudio, que demuestra la ausencia de radioisótopos esperados en esta muestra como lo es el Mn-54, el Zn-65, el Fe-55 y el Ni-64.

Las mediciones radiológicas de los aceites, se realizaron para 72 bidones de 200 L.

Tabla 1 Actividad en Bq de alícuotas de aceites lubricantes Aceite Radiactivo Núm.

CLAVE	AR1	AR2	AR3	AR4	AR5	AR6	AR7	AR8	AR9	AR10	AR11
<sup>60</sup> Co (Bq)	4.4	3.7	4.6	4.9	17.0	19.2	16.2	15.1	30.0	32.7	634.7

### 3.2 Caracterización física

La Tabla 2 presenta el área, la longitud y el ancho de las partículas contenidas en las alícuotas de aceites lubricantes. El área de las partículas contenidas en las alícuotas pueden variar desde 64.62  $\mu\text{m}^2$  hasta 1413  $\mu\text{m}^2$  lo que indica la gran heterogeneidad de las partículas que se encuentran en los diferentes bidones de los aceites lubricantes, de ahí la complejidad de establecer un proceso estandarizado de descontaminación.

Campo No. 1: 1040.87  $\mu$  x 1002.85  $\mu$

Muestra en 5  $\mu\text{L}$

Datos medidos: Lente de 50 X

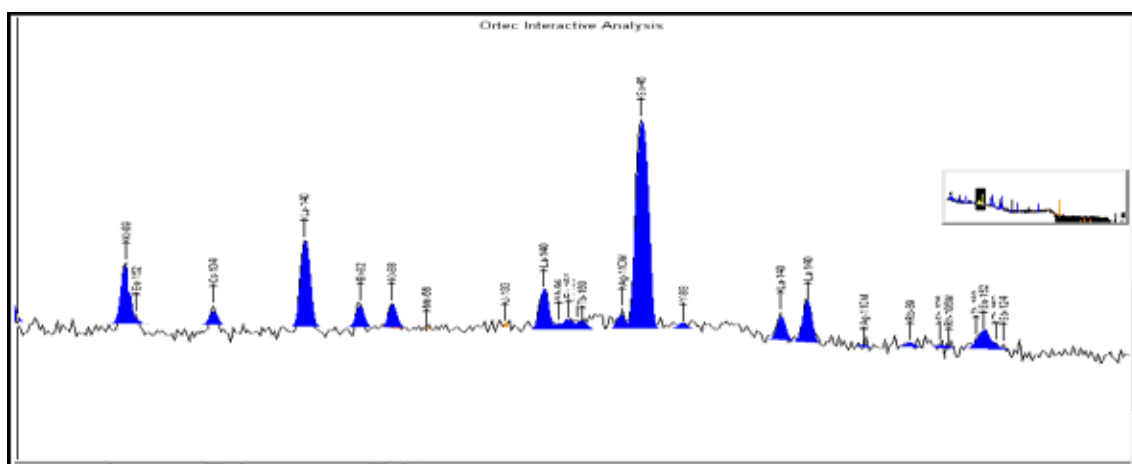


Figura 3 Espectro gamma de análisis semi cuantitativo de alícuota de aceites lubricantes

Corrida 1

**Tabla 2** Características física de partículas radiactivas contenidas en los aceites lubricantes.

Núm.	Área (µm²)	Longitud (µm)	Ancho (µm)
1	801.31	35.29	27.44
2	801.31	46.44	26.66
3	904.70	37.37	30.61
4	142.16	16.60	12.24
5	887.47	51.90	24.91
6	482.51	31.66	20.51
7	318.80	29.41	20.40
8	64.62	12.45	8.16
9	1413.0	59.48	31.51
10	81.85	12.66	8.16
11	448.0	33.1	23.10

**3.3 Descontaminación.**

La temperatura entre 14° C a 18° C del medio ambiente que se encontraba en el edificio en época de invierno, ayudo para mantener una viscosidad constante y evitar la pérdida por evaporación.

La descontaminación es verificada por varios equipos, que son especializados para este tipo de análisis. Para cumplir con la NOR -003-ININ-2009. La circulación de partículas contaminadas se debe de mantener hasta un nivel, lo más baja posible con programas de vigilancia radiológica ambiental con valores de 3.3263 kBq / L para el <sup>60</sup>Co, fijando la radiación como la radioactividad natural en el lugar del procesamiento es de 0.003 mR/h , /100 = 0.00003 µSv, o alcanzar un nivel más bajo que lo que marca la norma radiológica. Podrían tratarse los aceites contaminados que se obtienen de la separación y de acuerdo con el Organismo Internacional de Energía Atómica en instalacio-

nes nucleares para la destrucción de aceites usados, o por ejemplo por la incineración en una sementera o en el terraplén de las carreteras dependiendo de su actividad.

**3.4 Caracterización Radiológica final.**

La medición de partículas radioactivas pueden ser seguidas con aparatos detectores, como es un Geiger-Muller, pueden ser medidas paso a paso durante todo el proceso (el equipo más sofisticado o más exacto es el de Ge-Hi), en este caso “desaparecen” las partículas en un 97.95 % del sistema aceite, con un solo proceso, (el cual se puede repetir), como se hace notar en la grafica denominada Final. (ver su escala en Bq).

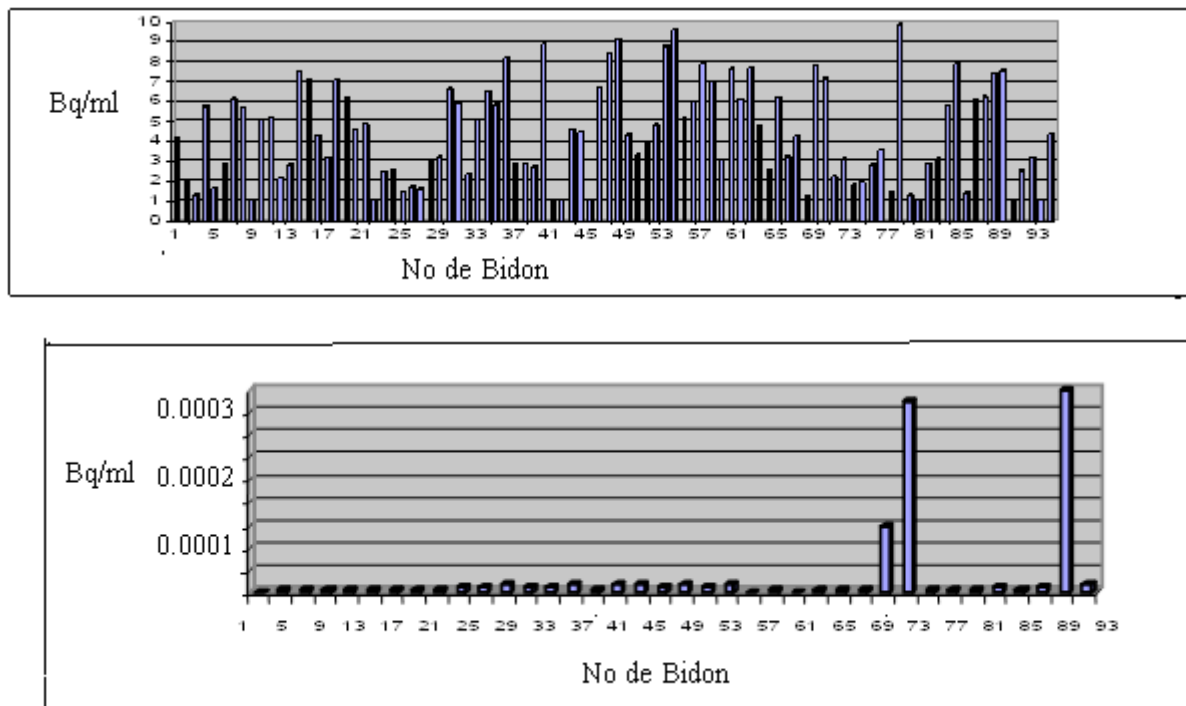
**3.5 Caracterización física final.**

(Fig.4)

**3.6 Deposición final.**

**Tabla 3** Datos de Actividad de las partículas en los bidones y estadística de las gráficas de Antes y Después.

	Antes	Después
Número de Bidones	92	72
Valor Mínimo obtenido	1.70E-01	5.79E+01
Valor Máximo obtenido	5.79E+01	1.68E+03
Promedio	2.72E+01	8.69E+02
Moda		100
Varianza	2.82740	2.23710 (79.12%)
Desviación Estándar	3.016 x 10 <sup>0</sup>	206.315
Coefficiente de Variación	0.317	
Incertidumbre declarada por cada lab.	74	74



**Fig. No. 4** Discusión de las graficas y la inter comparación de ellas, en la de arriba se presenta las cantidades iniciales de actividad en cada uno de los bidones y en la de abajo los finales después de utilizar el proceso de campo magnético y la filtración e inter comparando el eje de las “y”, donde se puede apreciar la disminución de actividades en Bq.

El proceso antes descrito en la figura 2 tiene por objeto el de superar las desventajas, que puedan ser económicas, de seguridad radiológica y de tiempo, siendo más práctico, más barato, que cualquier proceso para separar el material radioactivo del aceite.

Se tiene así, un proceso para la reducción de partículas "radioactivas" exclusivamente para los aceites y solventes, y particularmente de los aceites provenientes de plantas núcleo eléctricas y de los centros de la investigación, teniendo un tiempo más grande de almacenamiento.

#### 4. CONCLUSIONES

Lo que se presenta en la 1ª grafica de la figura 4 es antes del desarrollo del proceso tal como se recibieron de la CLV, se presenta una escala mas grande, que va de 0 a 10 unidades en Bq / mL y en la 2ª grafica después de ser procesados los bidones en el ININ, dando como resultado, la gráfica que menciona que la escala es más pequeña 0.00 a 0.0003 unidades de Bq/mL que pueden ser aceptados según la norma NOM-035-NUCL-2000. El factor de descontaminación del proceso es de 97.998 %.

Utilizar este método como primario, para poder tener un almacenamiento de bidones clasificados, más limpio por mucho más tiempo y con método más sencillo y económico.

El utilizar este método a control remoto satisface la norma utilizada en la republica mexicana, y compensa el gasto invertido.

Gracias al proceso presentado, es posible llevar a cabo una reducción de pérdida radiactiva por la separación en un campo magnético que atrapa las partículas radiactivas, y el tipo de filtro es importante que sea barato que se encuentre en el país, y sea manejable, seguro y eficaz.

El proceso presenta el tratamiento del aceite para lograr la separación radiactiva, particularmente cuando se trata de aceites, en particular los aceites usados en las plantas núcleo eléctricas y en los centros de investigación, y que tiene por objeto un proceso barato, sencillo y que puede ser automatizado o semi automático el tratamiento de reducción de contaminación radiactiva. También la forma de determinar el análisis cualitativo y cuantitativo se hizo con diferentes aparatos que normalmente no se aplican para este uso, solo los centelladores líquidos y los de Germanio -Hiperpuro, con respecto a los resultados se podrá verificar que además de tener tablas de datos, sus gráficas, se pudieron verificar durante el proceso de separación fue bueno, por medio de estadística.

"Estimación de desviación estándar de reproducibilidad y repetibilidad en el diseño, implementación y análisis estadístico de resultados de repetibilidad y reproducibilidad". Utilizando la norma NMX-VH-5725-2-IMNC-2006.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a todos las personas que contribuyeron en los laboratorios de análisis, en los talleres y en la construcción de equipo para este proyecto.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

##### Literatura utilizada

1. Gutiérrez-Enrique C., Camacho Ma. E., Chávez A2003. Técnica de separación de aceites y material radioactivo . Informe técnico. Ciencias ambientales Informe técnico ITOCAMB/DFR/015-2002. Diciembre 2002.
2. Gregg. 2002. Nuclear power, waste management issues. Power Engineering Journal,. 16(4)pp 207-212. .
3. Department of Physics Faculty of Physics West. University of Timisoara, 2002. Damper with magnetorheological suspension. 2002.Department of Physics. Journal of Magnetism and Magnetic Materials v 241 n 2. p 196-200.
4. Pocovi, R.E.; Flores, J.E.; Kwok, L.H. 2002. Separación sólido-líquido mediante filtración al vacío en el proceso de producción de ácido bórico. Univ. Nacional de Salta Fac. de Ingenierí Inst. Beneficio de Minerales, 4400 Salta, Argentina Source: Information Technologic v 13 n 1 2002. p 33-38.
5. Pai, R.; Hargreaves, D.J. 2002. Performance of environment-friendly hydraulic fluids and materialwear in cavitating conditions D.J.Tribology. Research Concentration Queensland University Of Technology, Brisbane 4001, Australia Source: Wear v 252 n 11-12 June 2002. p 970-978.
6. Feldmann, D.G.; Kessler,M. 2002. Fluid qualification tests-Evaluation of the lubricating properties of biodegradable fluids. Technische Univ. Hamburg-Harburg Hamburg, Germany Source: Industrial Lubrication a Tribology v 54 n 3 2002. p 117-129.
7. Ike, Hiroshi; Tsuji, Kunio; Takase, Makoto. 2002 In situ observation of a rolling interface and modelling of the surface texturing of rolled sheets. Corporate Source: Materials Fabrication Lab. The Inst.Of Physical/Chemical, Res., Wako, Saitama 351-0198, Japan. Source: Wear v 252 n 1-2 p 48-62.
8. Azeredo,-Rodrigo-B.V.; Colnago,-Luiz Alberto 2002. Determination of oil and humidity content in seeds by NMR in steady-state. Dept. de Física. Brazilian meeting on magnetic resonance Maringa, PR (Brazil) . Workshop 'Aplicacoes da RMN.
9. Callaghan,-Paul.2002. Spectroscopy scales new peaks, (Victoria University, Wellington (New Zealand) Physics-World (Jun 2002) v. 15(6) p. vp Country of input: International Atomic Energy Agency (IAEA)
10. NOM-004-NUCL-1994 Norma Oficial Mexicana, Clasificación de los desechos radiactivos. Secretaria de Energía. Fundada en los artículos 33 fracción X de la ley Orgánica de la Administración Pública Federal (1994).
11. Norma Oficial Mexicana NOM-035-NUCL-2000, Limites para considerar un residuo sólido como desecho radiactivo. D.O.F. 19-V-2000.
12. (NOM-028-NUCL-1996).
13. Gerardo Otero, Claudia Cabal, José Acuña. 2005. Informe sobre campos electromagnéticos y la salud humana. Instituto de Ingeniería Eléctrica Facultad de Ingeniería Universidad de la República de Uruguay. Julio Herrera y Reissig 565 – tel. 7110974 CP 11300 Montevideo, Uruguay.