

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE CIENCIA E ING. DE LOS MATERIALES  
VICERRECTORIA DE INVESTIGACION Y EXTENSION**

**INFORME FINAL DEL PROYECTO: "INCREMENTO DE LA  
COMPETITIVIDAD DE LA INDUSTRIA MEDIANTE ESCANEAO  
GAMMA, TRAZADORES Y SISTEMAS DE CONTROL  
NUCLEONICO"**

**Elaborado por:**

Ing. Oscar Chaverri  
Ing. Bruno Chiné  
Ing. Mario Conejo Solís  
MSc. Celso Vargas  
Ing. Alfonso Navarro

**Diciembre del 2005**

### 1. Título del proyecto:

Incremento de la competitividad industrial por medio del escaneo gamma, radiatrazadores y sistemas de control nucleónico

### 2. Participantes

Los participantes en el proyecto fueron los siguientes y sus respectivas direcciones electrónicas:

MSc. Oscar Chaverri, ochaverri@itcr.ac.cr Dr. Bruno Chiné, bchine@itcr.ac.cr Ing. Mario Conejo Solís, mconejo@itcr.ac.cr Ing. Alfonso Navarro, alnavarro@itcr.ac.cr MSc. Celso Vargas, celvargas@itcr.ac.cr
---

### 3. Resumen ejecutivo

El proyecto “Incremento de la competitividad industrial por medio del escaneo gamma, radiatrazadores y sistemas de control nucleónico”, se había aprobado inicialmente para el bienio 2003-2004; lográndose luego una aprobación para continuarlo durante el 2005. Fue financiado por el OIEA, con la correspondiente contraparte institucional. Aunque para efectos internos de la VIE este proyecto finalizó en diciembre del 2005, aún restan dos visitas de experto y el arribo de un equipo adicional donado por el OIEA, así como la llegada al país de un Oficial Técnico del Organismo Internacional de Energía Atómica, para dar por finalizado este proyecto, esta actividades se realizarán durante los primeros meses del 2006.

Tres actividades principales fueron contempladas en el proyecto: la dotación de un equipamiento básico pero de gran calidad en tecnología de trazadores y en sistemas de control nucleónico (perfilaje gamma y fuentes de neutrones). Los aportes del OIEA alcanzan los 125.000.00 USD. La segunda actividad importante fue la capacitación de personal del TEC en laboratorios de reconocida trayectoria en Latinoamérica en las tecnologías de interés. Se realizaron cinco visitas científicas durante el proyecto. La tercera actividad fue el envío de expertos internacionales a la institución. Se recibió expertos de Venezuela, Argentina y Korea. Está pendiente la visita de dos expertos argentinos para el 2006.

La capacidad generada por el proyecto ha sido realmente significativa de manera que el grupo formado a nivel institucional cuenta con la capacidad básica para iniciar la transferencia de esta tecnología a los sectores industriales y de servicios en esta área de interés.

#### **4. Palabras claves:**

Radiotrazadores, usos pacíficos de la tecnología nuclear, sistemas de control nucleónico, escaneo gamma, OIEA, radioisótopos, seguridad radiológica, tecnología nuclear en la industria y perfilaje neutrónico.

#### **5. Introducción:**

Esto proyecto se enmarca como “proyecto de dotación de capacidad”, es decir, busca incrementar la capacidad de la Institución en la promoción de la tecnología de radiaciones para usos industriales, específicamente en dos tecnologías: el perfilaje gamma y la tecnología de trazadores.

El desarrollo del proyecto se ha forjado en tres ejes fundamentales: capacitación de personal en el exterior, visita a nuestro país de expertos y equipamiento del laboratorio en las áreas de interés; se establecieron para este proyecto los siguientes objetivos:

- a. Desarrollar técnicas rápidas para la solución de problemas de diagnóstico de equipo e instalaciones que se presentan regularmente en una planta, utilizando radiotrazadores, sistemas de control nucleónico y perfilaje gamma, de forma que se pueda incrementar la eficiencia en plantas petroquímicas, agroindustriales y de generación energética.
- b. Formar recursos humanos, tanto técnicos como profesionales, multidisciplinarios dentro de ITCR para una adecuada transferencia de la tecnología de diagnóstico isotópico.
- c. Establecer un plan de divulgación y capacitación del personal de las industrias que requieren el diagnóstico isotópico como sistema de control de proceso y de calidad.

Con base en los objetivos propuestos y a los ejes fundamentales en que se definió el desarrollo de este proyecto, se realizaron las siguientes actividades:

- a. Obtención de radiotrazadores, como yodo 125 y tecnecio 99 en hospitales y otros entes a nivel nacional con licencia para trabajar con fuentes radioactivas abiertas, de manera que se pudieran efectuar prácticas con radiotrazadores en tuberías, con lo cual, el grupo de trabajo se familiarizó con el uso de los equipos de registro de información y procesamiento de datos.
- b. Fabricación de una columna experimental, de múltiples platos en su interior, que permita la realización de prácticas con el sistema de scaneo gamma. Con la construcción de esta columna se ha logrado generar experiencia en el manejo de los implementos requeridos para desarrollar las labores del perfilaje de columnas.
- c. Fabricación de prototipos de tuberías con la simulación de incrustaciones y/o desprendimientos de material de diferente tipo, con lo cual se logró realizar el perfilaje de tuberías, se logró analizar la sensibilidad de los equipos con que se

cuenta y los tamaños mínimos de incrustaciones o desprendimientos que pueden ser detectados.

Con los equipos que han sido donados por el Organismo Internacional de Energía Atómica se ha logrado complementar el Laboratorio de Pruebas no Destructivas con que cuenta la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales, en este Laboratorio se instruye a personal de las empresas, sobre control con técnicas isotópicas y también se da formación a estudiantes de Ingeniería en Materiales e Ingeniería en Mantenimiento Industrial.

La consolidación de un laboratorio de pruebas no destructivas, que contemple la utilización bien controlada de fuentes radioactivas abiertas y cerradas, en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, constituye un gran avance para nuestro país, debido a que se pone al servicio de empresas y diversas entidades; la aplicación de técnicas nucleares para la valoración de sistemas y diversos procesos de control de calidad, que es posible efectuar con las mismas. Además se instruye a una gran cantidad de futuros profesionales en las áreas de ingeniería, quienes en un futuro cercano tendrán a cargo la operación, desarrollo y mantenimiento de múltiples empresas en nuestro país.

El proyecto “Incremento de la competitividad de la industria mediante escaneo gamma, trazadores y sistemas de control nucleónico”, se ubica dentro del grupo de proyectos **orientados a dotar de capacidad** a los distintos países miembros del OIEA. Este tipo de proyectos son muy intensivos en equipamiento, capacitación y transferencia de conocimientos hacia el país que ejecuta el proyecto de cooperación técnica. La cooperación y transferencia se enmarcó en el campo de dos grupos de tecnología nuclear: los sistemas de control nucleónico (perfilaje gamma y sistemas de transmisión y retrodispersión) y la tecnología de trazadores.

## 6. Materiales y métodos

### a. Equipos y Materiales

En cuanto a equipos y materiales recibidos por el OIEA se tienen los siguientes:

#### *Equipamiento recibido (trienio 2003 – 2005)*

<i>Lista del equipo recibido</i>	<i>Fecha de recibo</i>	<i>Monto del equipo</i>	<i>Equipo Instalado</i>	<i>Funciona adecuadamente</i>	<i>Fecha de comunicación al OIEA</i>
Equipo para perfilaje gamma	20/07/03	12,000,00	Sí	Sí	10/05/2003
Tracers Data adquisition with 6 detectors	01/08/03	40 300,00	Si	Si	08/04/2003
Radiation protection and safety instruments: ➤ Digital personal dosimeter. ➤ Hand-held dose rate meter ➤ Digital personal dosimeter ➤ Alarming rate meter for gamma radiation model	13/08/03	4 250,00	Si	Si	21/07/2003
Set of dosimeter devices, including: ➤ 4 piezas Graetz personal dosimeters ➤ 1 piece X5C- Digital dose rate Meter with battery and interface	21/07/03	2 360 ,00	Si	Si	25/06/2003
Flow-Rig, sistema para la experimentación con diferentes modelos de trazadores ( reactores de mezcla, flujo de pistón, recirculaciones, inyección instantánea y no instantánea, entre otros)	01/07/05	9,000,00	Sí	Sí	15/06/2005
Tres Fuentes de CO-60, con 15, 30 y 50 mCi de actividad respectivamente, para la realización de Perfilajes gamma en columnas de diferentes dimensiones	20/08005	4,500,00	Sí	Sí	16/07/2005
Equipo de Fluorescencia de rayos X (portátil) para la determinación de la composición química de materiales y metales preciosos	10/08/05	46,000,00	Sí	Devuelto para reparación	10/07/2005

Está pendiente el ingreso de una fuente de Americio-Berilio para análisis por retrodispersión (con neutrones), prevista para ingresar en los primeros meses del 2006, más un detector y equipo de tasa de dosis para bajas energías.

Es importante recalcar el que el equipamiento recibido y por recibir sobrepasará los 120,000,00 USD.

b. Actividades de capacitación fuera del país

*Capacitación y entrenamiento recibido  
(Trienio 2003- 2005)*

<i>Nombre</i>	<i>Tipo de Capacitación</i>	<i>País e Institución</i>	<i>Duración</i>
Ing. Mario Conejo Solís	Trazadores	Brasil, Instituto de Pesquisas Energeticas y Nucleares IPEN	1 mes
Dr. Bruno Chiné Polito	Modelado/Trazadores	Argentina, Universidad Nacional del Comahue	2 meses
M.Sc. Celso Vargas	Seguridad radiológica en la industria	México ININ Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	2 meses
M.Sc. Oscar Chaverri	Trazadores, SCN, Perfilaje Gamma	Perú Instituto Peruano de Energía Nuclear	2 meses
<b>Téc. Marvin Rodríguez</b>	Sistemas de control nucleónico de transmisión	IPEN, Brasil	1 mes

En la actualidad el Dr. Chiné, el Ing. Conejo y el M.Sc. Chaverri laboran para la Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales del ITCR, son los encargados del desarrollo de técnicas isotópicas en esta Universidad. El M.Sc. Vargas es el responsable de la seguridad radiológica en esta casa de enseñanza superior.

Los aportes por parte del OIEA en materia de capacitación fuera del país sobrepasan los 40,000,00 USD.

c. Misiones de expertos

Se han recibido un total de cuatro misiones de experto en el marco del proyecto. Estas misiones complementan la capacitación recibida y son de naturaleza demostrativa.

Las visitas han sido las del Dr. D-H. Jin, Oficial Técnico del OIEA, cuyo objetivo fue la adecuación del plan de ejecución del proyecto, la visita a diferentes industrias y empresas nacionales usuarios potenciales de este tipo de tecnología. Contamos con dos misiones de experto del Dr. Mario Cano, de Venezuela relacionadas con la técnica del

perfilaje gamma en columnas de destilación. La cuarta misión de experto estuvo a cargo del Dr. Guillermo Maggio de Argentina relacionadas con la utilización de radiotrazadores en la industria. A inicios del segundo semestre del 2005 se recibió la visita del Dr. S-H Jung y del Dr. Kim, ambos de Corea, cuya finalidad fue la instalación y demostración del uso del “flow-rig”. En los anexos se incluye una descripción detallada de cada una de las misiones de experto.

Quedan pendientes dos misiones de experto más: una visita del Dr. Maggio y otra del Dr. Sumaruga, ambos de Argentina. Se espera que estas se realicen durante los primeros meses del 2006.

Los aportes por misiones de experto rondan los 25,000,00 USD.

#### d. Aportes institucionales

Para el desarrollo del presente proyecto, la escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales ha puesto a su disposición  $\frac{3}{4}$  T.C. de tiempo profesional, más 4 hr/sem del Ing. Alfonso Navarro de la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental y  $\frac{1}{4}$  T.C. del MSc. De la Escuela de Ciencias Sociales; lo cual representa para el ITCR un costo aproximado de \$18 000 anuales. Se facilitó el laboratorio de pruebas no destructivas y se construyeron prototipos para ensayos y prácticas por un monto cercano a los \$3 000. Algunos de los costos para desalmacenar los equipos donados por el OIEA fueron cubiertos con los fondos que maneja la Escuela en la FUNDATEC, debido a que estas erogaciones no era posible cubrirlas con el total de los montos de las partidas presupuestarias asignadas al proyecto. De igual manera, la Escuela hizo un aporte significativo en lo relacionado con el transporte, tanto de los equipos y materiales, como para las visitas que se realizan a las distintas empresas y la visita de los expertos.

Además de los montos señalados, la Vicerrectoría de Investigación de ITCR, ha dotado de un monto promedio anual de \$2500 al proyecto COS/8/009 como presupuesto para el adecuado desarrollo de las diversas actividades que el mismo demandó durante el periodo indicado. Finalmente, la Institución hizo un aporte del 8 % sobre el presupuesto total del proyecto por un monto que ronda los 16.000.00 USD.

## 7. Resultados

- a. Lograr capacitar a profesionales de nuestra Universidad en los mejores Centros de Investigación y Desarrollo de Latinoamérica en las aplicaciones de Radiotrazadores y Perfilaje Gamma.
- b. Lograr equipar nuestro Laboratorio de pruebas no destructivas, con equipos de toma, registro y procesamiento de información de altísima sensibilidad.
- c. Fabricación de prototipos para simulación de procesos en nuestros laboratorios, a fin de poder reproducir estas actividades en aplicaciones reales en la industria.

- d. Expandir el conocimiento en estudiantes de ingeniería y en personal de la industria, sobre las bondades y usos responsables de las técnicas isotópicas.
- e. El grupo ha generado capacidad para la utilización de la tecnología de trazadores y sistemas de control nucleónico en la industria. En este sentido, la Vicerrectoría de Investigación y Extensión aprobó un proyecto de investigación que tiene como objetivo la realización de prácticas con trazadores y perfilaje gamma a diferentes industrias del sector químico y petroquímico.
- d. Se ha generado capacidad en todos los aspectos relacionados con el diseño, desarrollo e interpretación de los datos derivados de las aplicaciones de la tecnología de trazadores y el perfilaje gamma. Uno de los ejemplos más importantes de práctica realizada en industrias lo constituye el perfilaje gamma realizado en RECOPE. Con el propósito de dar una idea de todas las etapas involucradas en este tipo de aplicaciones, se describe con detalle el perfilaje realizado a RECOPE.

## **Presentación detallada del trabajo realizado en RECOPE con el equipo para perfilaje gamma donado por el OIEA**

### **I. INTRODUCCION**

En el marco de las actividades realizadas por la Escuela e Ingeniería de los Materiales en lo referente a los usos y beneficios que derivan de la utilización pacífica de la energía nuclear, se realizó, en colaboración con el personal de la Refinería Costarricense de Petróleo (RECOPE) de Puerto Moín, una inspección mediante la técnica de perfilaje gamma.

Dicha inspección, realizada en una columna desbutanizadora (torre GV-2406), tuvo la finalidad de demostrar los beneficios que derivan de la aplicación de dicha tecnología en la determinación de problemas que podrían reducir la eficiencia de la torre.

Se reportan los resultados obtenidos en el perfilaje del segmento superior que contiene los platos del 1 al 14 por una longitud aproximada global de ocho metros, siendo la altura total de la torre de 35,9 metros.

### **II. OBJETIVOS DEL PERFILAJE**

- a) Propiciar el desarrollo de actividades conjuntas entre la industria, el ITCR y organismos internacionales que cuentan con experiencia en el área de las técnicas nucleares para el control de procesos industriales
- b) Promover la aplicación de la técnica de perfilaje gamma y técnicas nucleares similares, en el estudio de dispositivos industriales como torres de destilación, tuberías, intercambiadores de calor, etc.



### III. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

#### 3.1 Diseño del experimento

Algunos días previos a la realización del trabajo de campo en la Refinería de Moín, bajo la supervisión del experto del OIEA, Dr. Mario Cano, se realizó una simulación de la torre a evaluar, considerando los espesores y el diámetro que posee la misma para estimar si la actividad y la energía de la fuente, de manera que la fuente seleccionada fuera la apta para ser empleada en el sistema real a inspeccionar. Con el fin de evaluar la sensibilidad del equipo de medición se colocaron diferentes cuerpos sólidos entre la fuente y el detector determinándose que la sensibilidad del sistema era lo suficientemente aceptable. Para este trabajo se empleó una fuente de Co-60 de 15 mCi y como sistema de registro, un detector específico para este tipo de trabajo.

Simultáneamente, con el propósito de determinar los valores de exposición a la radiación emitida por el radioisótopo escogido y asegurar que el personal que realizaría el trabajo de campo fuera expuesto solamente a valores por debajo de los permisibles, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

##### a) Cálculo teórico de la tasa de radiación

- Considerando que el factor de emisión para el Co-60 es de 1,3 R/Cihr a un metro de distancia y dado que se emplearía una fuente de 0,015 Ci, el valor calculado para el proceso de montaje de la fuente es de 11,05  $\mu$ Sv. La tasa de radiación a la que puede estar expuesto el personal que manipula fuentes radiactivas es de 25  $\mu$ Sv/hr, según normativa internacional

##### b) Medición de la tasa de radiación

- Después de abrir el contenedor de plomo que alberga la fuente, usando los procedimientos sugeridos por el OIEA (uso de pinzas, evitar contacto directo con la fuente, uso de dosímetros personales, etc.) se colocó la misma a una cierta distancia desde el detector seleccionado y se registraron los valores de las tasas de radiación, demostrando que tanto los datos de radiación teóricos como experimentales son inferiores a los permitidos por la normativa internacional

Adicionalmente, en el trabajo de campo se emplearán los detectores de radiación a fin de que los niveles de exposición esté por debajo de los límites permisibles.

#### 3.2 Trabajo de campo

- Con ayuda del personal de la Dirección de Servicios Operativos de Apoyo, se procedió a realizar la señalización del área de trabajo y al montaje de los equipos en la torre seleccionada tales como poleas, cables y otros instrumentos necesarios para el ensayo
- Una vez montado el equipo (fuente, detector y demás instrumentos), se procedió a la toma de datos desde el nivel inferior (a una altura aproximada de 20,7m) hasta la parte superior de la torre. El intervalo de medición empleado es de 5 cm y con una duración de 2 segundos en cada punto

#### IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Con base a las mediciones realizadas en la parte superior de la torre, se muestran en la tabla número uno, los datos de campo obtenidos.

Tabla 1. Datos numéricos del perfilaje de Torre de Destilacion (GV-2406)

Log contaje (C/s)	Distancia (m)	Posicion absoluta (m)
3,71	0,00	20,742
3,79	0,05	20,792
3,47	0,10	20,842
2,77	0,15	20,892
3,34	0,20	20,942
3,84	0,25	20,992
3,79	0,30	21,042
3,88	0,35	21,092
3,88	0,40	21,142
3,86	0,45	21,192
3,91	0,50	21,242
3,92	0,55	21,292
3,88	0,60	21,342
3,86	0,65	21,392
3,72	0,70	21,442
3,13	0,75	21,492
3,63	0,80	21,542
3,92	0,85	21,592
3,94	0,90	21,642
3,94	0,95	21,692
3,95	1,00	21,742
3,94	1,05	21,792
3,98	1,10	21,842
3,92	1,15	21,892
3,86	1,20	21,942
3,92	1,25	21,992
3,81	1,30	22,042
2,86	1,35	22,092
3,21	1,40	22,142
3,57	1,45	22,192
3,90	1,50	22,242
3,93	1,55	22,292
3,95	1,60	22,342
3,91	1,65	22,392
3,88	1,70	22,442
3,91	1,75	22,492
3,94	1,80	22,542
3,93	1,85	22,592
3,86	1,90	22,642
3,41	1,95	22,692
3,22	2,00	22,742

Tabla 1. Datos numéricos del perfilaje de Torre de Destilacion (GV-2406) cont.

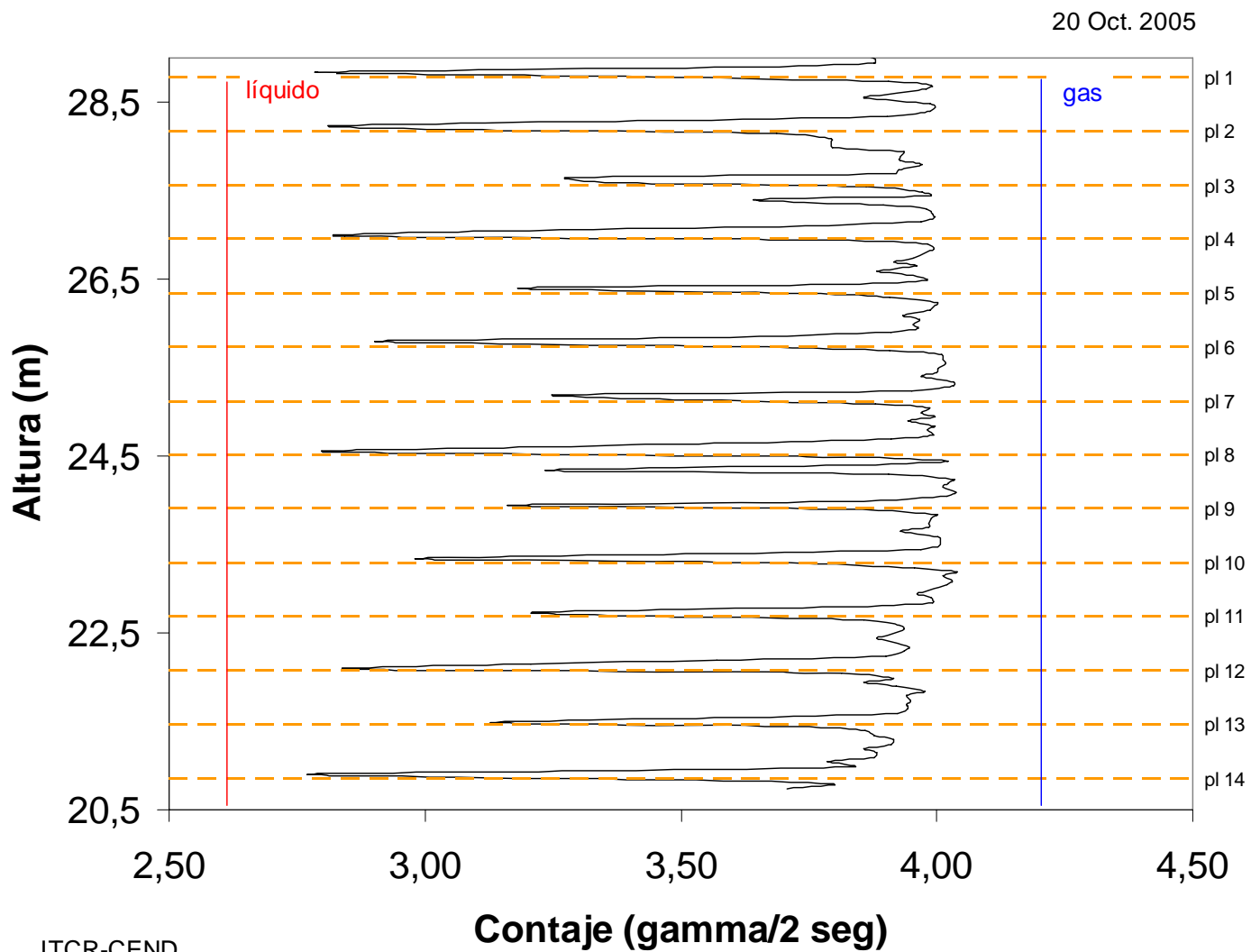
3,84	2,05	22,792
3,99	2,10	22,842
3,99	2,15	22,892
3,96	2,20	22,942
3,99	2,25	22,992
4,02	2,30	23,042
4,03	2,35	23,092
4,01	2,40	23,142
4,04	2,45	23,192
3,96	2,50	23,242
3,66	2,55	23,292
2,98	2,60	23,342
3,58	2,65	23,392
3,97	2,70	23,442
4,00	2,75	23,492
4,01	2,80	23,542
4,00	2,85	23,592
3,93	2,90	23,642
3,98	2,95	23,692
3,98	3,00	23,742
3,99	3,05	23,792
4,00	3,10	23,842
3,82	3,15	23,892
3,16	3,20	23,942
3,82	3,25	23,992
4,02	3,30	24,042
4,04	3,35	24,092
4,01	3,40	24,142
4,02	3,45	24,192
4,03	3,50	24,242
3,91	3,55	24,292
3,23	3,60	24,342
3,85	3,65	24,392
4,02	3,70	24,442
3,86	3,75	24,492
2,83	3,80	24,542
3,10	3,85	24,592
3,62	3,90	24,642
3,91	3,95	24,692
3,99	4,00	24,742
3,98	4,05	24,792
3,99	4,10	24,842
3,94	4,15	24,892
4,00	4,20	24,942
3,97	4,25	24,992
3,99	4,30	25,042
3,88	4,35	25,092
3,41	4,40	25,142
3,26	4,45	25,192
3,95	4,50	25,242
4,03	4,55	25,292
4,03	4,60	25,342
3,97	4,65	25,392
4,00	4,70	25,442
4,00	4,75	25,492
4,02	4,80	25,542
4,01	4,85	25,592
4,01	4,90	25,642
3,91	4,95	25,692

Tabla 1. Datos numéricos del perfilaje de Torre de Destilacion (GV-2406) cont.

3,62	5,00	25,742
2,90	5,05	25,792
3,53	5,10	25,842
3,91	5,15	25,892
3,96	5,20	25,942
3,95	5,25	25,992
3,97	5,30	26,042
3,93	5,35	26,092
3,99	5,40	26,142
3,99	5,45	26,192
4,00	5,50	26,242
3,91	5,55	26,292
3,75	5,60	26,342
3,18	5,65	26,392
3,82	5,70	26,442
3,98	5,75	26,492
3,95	5,80	26,542
3,88	5,85	26,592
3,96	5,90	26,642
3,91	5,95	26,692
3,95	6,00	26,742
3,98	6,05	26,792
4,00	6,10	26,842
3,98	6,15	26,892
3,79	6,20	26,942
2,84	6,25	26,992
3,15	6,30	27,042
3,64	6,35	27,092
3,97	6,40	27,142
3,99	6,45	27,192
3,99	6,50	27,242
3,98	6,55	27,292
3,89	6,60	27,342
3,64	6,65	27,392
3,99	6,70	27,442
3,97	6,75	27,492
3,86	6,80	27,542
3,37	6,85	27,592
3,28	6,90	27,642
3,92	6,95	27,692
3,93	7,00	27,742
3,97	7,05	27,792
3,93	7,10	27,842
3,93	7,15	27,892
3,94	7,20	27,942
3,80	7,25	27,992
3,79	7,30	28,042
3,79	7,35	28,092
3,69	7,40	28,142
3,05	7,45	28,192
2,82	7,50	28,242
3,49	7,55	28,292
3,90	7,60	28,342
3,99	7,65	28,392
4,00	7,70	28,442
3,99	7,75	28,492
3,86	7,80	28,542
3,90	7,85	28,592
3,98	7,90	28,642
3,99	7,95	28,692
3,91	8,00	28,742
3,32	8,05	28,792
2,79	8,10	28,842
3,65	8,15	28,892
3,88	8,20	28,942
3,88	8,25	28,992
3,85	8,30	29,042

Con los datos mostrados en la tabla anterior, se trazan los perfiles de conteaje en función de la distancia para la torre en estudio (ver gráfico 1). En él se muestra la línea de referencia para el líquido en el lado izquierdo y la del gas en el lado derecho.

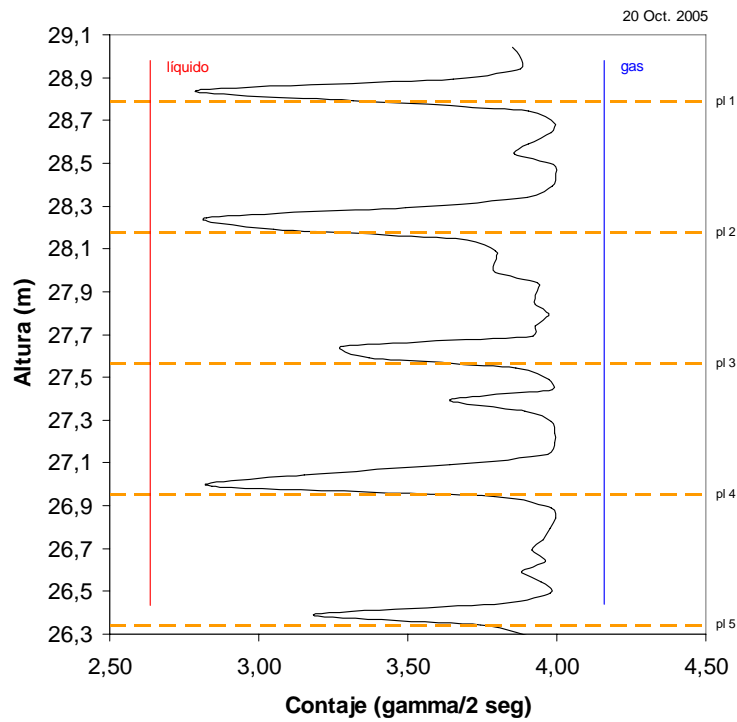
## Gráfico 1 Perfilaje Gamma de la Torre GV-2406 (RECOPE)



Seguidamente, se presentan en los gráficos 2, 3, 4 y 5 los perfiles más detallados de los diferentes niveles, con el propósito de identificar más claramente el estado de funcionamiento del segmento de esta torre.

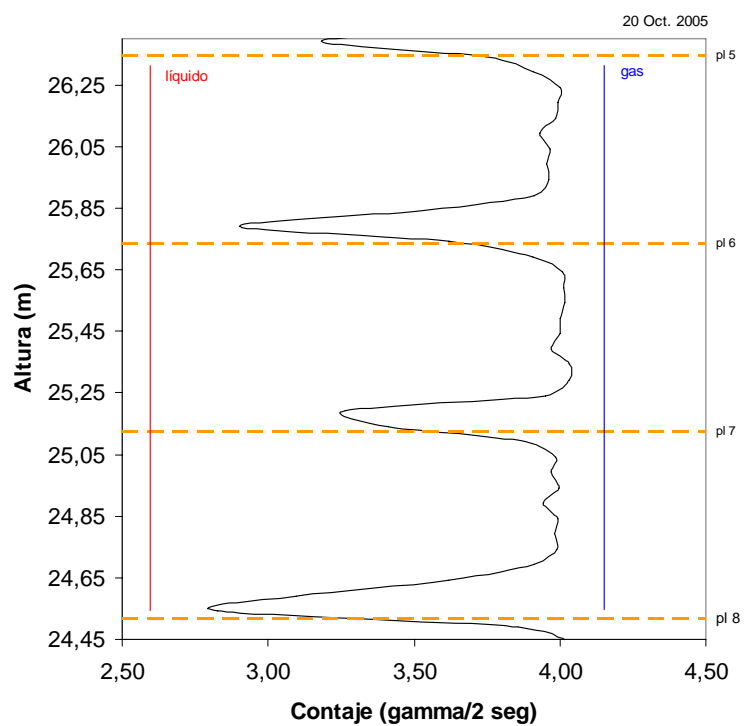
## Gráfico 2

### Perfilaje Gamma de la Torre GV-2406, RECOPE (26,3 a 29,1 m)



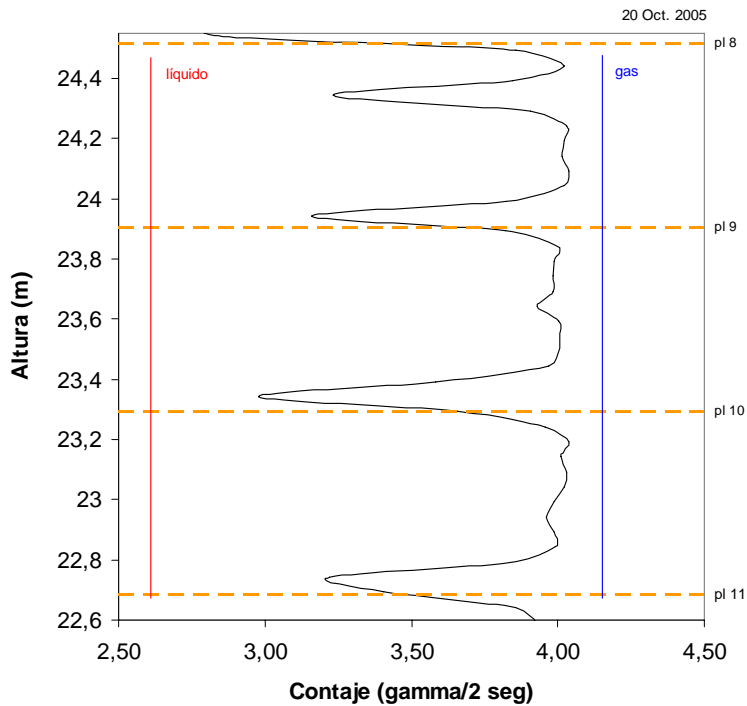
## Gráfico 3

### Perfilaje Gamma de la Torre GV-2406, RECOPE (24,45 a 26,4 m)



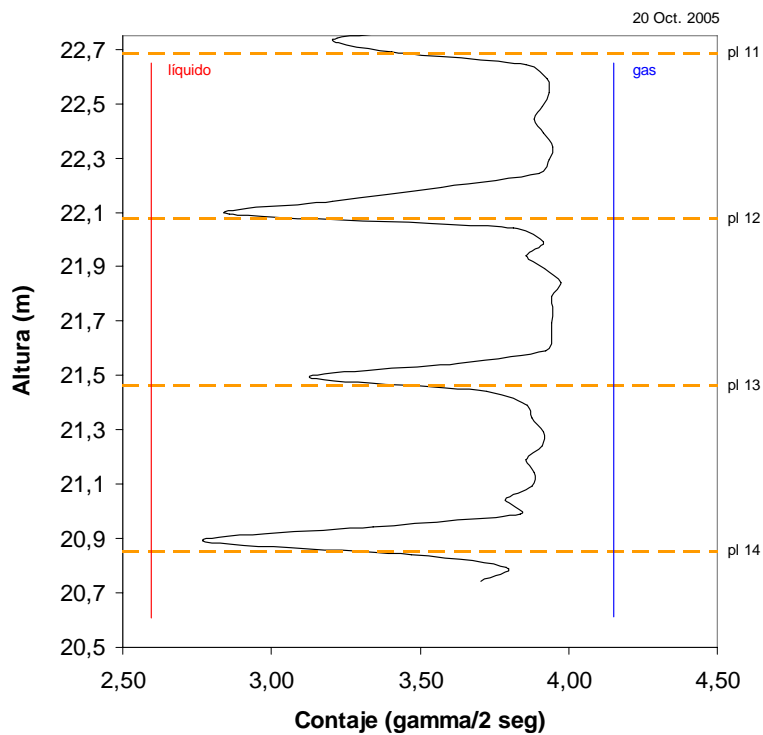
## Gráfico 4

Perfilaje Gamma de la Torre GV-2406, RECOPE  
(22,6 a 24,55 m)



## Gráfico 5

Perfilaje Gamma de la Torre GV-2406, RECOPE  
(20,5 a 22,75 m)





## V. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

1. El sector de la columna escaneada muestra, en general, un funcionamiento aunque no óptimo, sí normal.
2. Entre el plato 2 y el 3 se observa una “distorsión” importante que, según el experto, podría atribuirse más bien a algunas modificaciones en la construcción de la torre (alguna soldadura, tornillo, o cualquier otra estructura) no reportada en los planos.
3. La técnica de escaneo gamma presenta enormes ventajas comparativas: es una técnica rápida, no requiere la interrupción del funcionamiento de la planta, la dosis de exposición del personal ocupacionalmente expuesto son mínimas, casi nulas, si las comparamos con las dosis normales que recibimos como radiación natural (del suelo, las viviendas, el espacio y los alimentos entre otros).

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Es importante que en la próxima parada de la planta se haga una inspección visual del plato 2 y plato 3 e indicar el tipo de defecto u alteración en el mapa correspondiente de la planta.
2. Sería recomendable continuar con el trabajo de escaneo de manera que RECOPE cuente con un perfil del funcionamiento y de la condición de toda la columna y de las otras columnas de manera que en la próxima parada, se pueda tomar como base esta información para hacer las modificaciones, anotaciones, etc.

## VII. ESTIMACIÓN DE TIEMPO DE RESIDENCIA EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS DEL ITCR.

Con el propósito de continuar realizando trabajos de campo que permitiera al grupo mejorar el dominio de las técnicas nucleares en el ámbito de las aplicaciones de radiotrazadores, se decidió efectuar las mediciones del tiempo de residencia en la planta de tratamiento de aguas negras del ITCR. Esta planta de tratamiento consta de dos lagunas de igual dimensión y conectadas en forma serial.

Se eligió para estudio la segunda laguna. La segunda laguna contiene lirios acuáticos en los últimos cinco metros antes de desagüe de la misma. Los siguientes son los datos de la laguna:

- Volumen: 230 m<sup>3</sup>
- caudal: 4-7 l/s
- tiempo de residencia teórico: 3,8 días

El hecho de que esta laguna contuviera lirios acuáticos en menor cantidad era muy importante para nosotros a fin de determinar si estos lirios absorben el yodo lo cual podría afectar los resultados de la prueba.

Se utilizó una actividad de 500 micro Ci de I-131, al cabo de los 3,8 días tendríamos una actividad de 382 micro Ci. En este sentido, era de esperar que un conteo de 167 c/s. El sistema de la laguna fue considerado como de tipo entrada-salida. Es decir, se registra la actividad de entrada y se establece la

correspondencia a partir de las mediciones en la salida. El esquema de aplicación del radiotrazador se aprecia en la siguiente figura:

Análisis de los resultados.

En esta primera prueba se partió del tiempo de residencia indicado por los diseñadores de las lagunas. Por ello, a los tres días exactos de haber aplicado el radiotrazador se fue a realizar las primeras mediciones y se encontró un incremento significativo en el número de cuentas respecto a la radiación de fondo registrada. Sin embargo, la diferencia entre la radiación de fondo y la de la laguna bajo inspección fue únicamente de 53 c/s aproximadamente. Lo anterior puede interpretarse de varias maneras, no necesariamente excluyentes, las cuales queremos explorar en próximas pruebas: 1) que hayamos contado únicamente la cola de masa marcada. Es decir, que el tiempo de residencia del material en la laguna sea menor o igual a los 3 días. 2) Que los tiempos de muestreo no hayan sido lo suficientemente largos como para establecer resultados más confiables. En este último sentido, la estimación de error de medida pudo haber sido muy alto para intervalos de muestreo muy cortos. 3) La eficiencia intrínseca del detector no fue considerada en el análisis de los resultados por lo cual es importante reconsiderarla a la hora de analizar y corregir los datos. 4) Por los muestreos realizados en otras partes de la laguna, no se observó diferencia significativa en la salida (descarga de la laguna) y la parte en la que se encuentra localizado el lirio. Esto parece sugerir que el lirio no absorbe el yodo. Sin embargo, es un factor que debe ser analizado con mayor cuidado en los siguientes experimentos a fin de reducir cualquier factor de incertidumbre. 5) La consideración de la laguna como un sistema entrada-salida no permitió la introducción de otros parámetros importantes como la determinación de materia muerta. En este sentido, el incluir estos parámetros puede ser un importante control para un análisis más confiable de los resultados de los experimentos. 6) La cantidad de radioisótopo aplicado pudo haber sido limitado sobre todo cuando se consideró los aspectos relacionados con la eficiencia intrínseca y extrínseca de los detectores. En este sentido, podría considerarse la opción de incrementar la cantidad de radioisótopo requerido, de manera que se utilice un mili-Ci.

## VII. DETERMINACION DE ABSORCION DE BORO EN LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO O CURADO DE MADERA.

El grupo no ha encontrado referencias bibliográficas claras en relación con la realización de experimentos de este tipo en otras partes del mundo. En este sentido, es una oportunidad para el grupo de hacer una modesta contribución en el campo de las aplicaciones de los radiotrazadores. Usualmente, las industrias utilizan métodos cualitativos para la determinación del porcentaje de absorción de boro en procesos de curado. La intención de la utilización de radioatrazadores en este campo es el de proporcionar métodos más cuantitativos y estimaciones de absorción que puedan ser utilizados dentro de las certificaciones de calidad que pueden ser proporcionados por los ingenieros encargados.

En este experimento se utilizó una pieza de madera de ....., con las siguientes dimensiones: 40,9 cm de longitud y de 8,9 cm por 8,9 cm. Se estimó el peso inicial antes de someterla al proceso de tratamiento y tenía un peso de 1.896 gramos. De manera similar se estableció el peso final 2.251 gramos. Es decir, una absorción de 355 gramos. Una pieza típica de madera está conformada por

tres partes principales: la parte suave (albura, parte más externa), la parte dura (duramen, parte más interna), y la parte central (médula, usualmente pequeña). La primera absorbe más fácilmente el boro que la segunda, y la tercera es la mayor absorbente.

Una vez tratada la pieza se dividió en dos segmentos: dos cortes longitudinales. Uno de ellos utilizado para control y el otro para realizar la pruebas.

## 8. Discusiones

La Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales ha dado un paso muy significativo en su capacidad para promover los usos pacíficos de la tecnología nuclear. Cuenta en este momento con equipamiento básico, pero de gran calidad, para incrementar su participación a nivel nacional. Por otro lado, cuenta con personal capacitado en conocimientos básicos sobre este tipo de tecnología. Finalmente, hemos establecido contactos con otras instituciones y empresas nacionales, que podrían ser usuarios de esta tecnología, de manera que podamos incrementar nuestra capacidad en la utilización de este tipo de tecnología.

Nos resta ahora utilizar esta capacidad en el desarrollo de procedimientos y protocolos para estas tecnologías según las necesidades de las industrias y empresas del país.

## 9. Agradecimientos

Los participantes en este proyectos deseamos dejar constancia de nuestro agradecimiento a las siguientes personas e instituciones: El Organismo Internacional de la Energía Atómica, a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del ITCR, a la Comisión de Energía Atómica de Costa Rica y a la Sección de Radiaciones Ionizantes del Ministerio de Salud de Costa Rica. Muy especialmente expresamos nuestro agradecimiento al Dr. J-H Jin Oficial Técnico del OIEA, quien ha colaborado ampliamente en la asesoría técnica y en la dotación y selección del equipamiento, y en diferentes otros aspectos relacionados con la ejecución del proyecto. Enfatizamos su calidad humana y su compromiso con los usos pacíficos de la energía nuclear.

## 10. Bibliografía

## Anexo 1

### Misiones de experto

#### ***Experto N° 1:***

Nombre del experto: Cano Matus, Mario

Fecha y duración de la visita: 28 de abril al 02 de mayo 2003

En la primera parte de esta visita se desarrollaron dos conferencias en el área de perfilaje gamma y radiotrazadores, orientadas a difundir el conocimiento sobre estas técnicas, en estas conferencias participaron alrededor de 40 personas, entre estudiantes de ingeniería y personas de industrias involucradas en los temas señalados.

Luego se realizaron dos prácticas con equipos didácticos orientados al entrenamiento del personal con equipos pequeños, la primera se efectuó empleando un banco hidráulico de pruebas y la segunda en un horno de fusión de hierro.

Finalmente se efectuó una práctica de perfilaje de una torre de destilación en Recope en Moín, en la misma fue instalado los equipos para gamma scanning para la colocación de la fuente radioactiva, el detector y el sistema de adquisición de datos, la fuente era de Cesio 137 de 20 mCi y direccional. Debido al movimiento de la fuente producto del viento y a que esta es direccional y muy colimada, las variaciones en los diversos grados de variación de los niveles de radiación, con base a las irregularidades del sistema, no podían ser claramente diferenciados; además el diámetro y espesor de la columna eran muy grandes para el tipo de fuente y actividad con que se contaba. Por tanto, se consideró que sería más conveniente dejar para otro momento efectuar la experiencia y solicitar al organismo, fuentes panorámicas y de un radioisótopo que proporcionara radiación con mayor poder de penetración (preferiblemente fuentes de cobalto 60 de unos 50 mCi de actividad).

El informe final de la visita del Ing. Matus no fue recibido, aunque él siempre fue enfático en que se requerirían fuentes diferentes a la que en su momento teníamos (fuente de Cesio de 20 mCi y colimada) para poder tener buenos resultados para los procesos de gamma scanning.

#### ***Experto N° 2:***

Nombre del experto: Maggio, Eduardo

Fecha y duración de la visita: 24 – 28 de noviembre del 2003

Inicialmente se aprovechó la visita del Ing. Maggio para que él impartiera un curso corto y compartiera sus experiencia con personal de nuestra Escuela, en lo relativo a las áreas de tecnología de trazadores, sistemas de control nucleónico y perfilaje gamma. Luego se procedió a la revisión de los procedimientos para las buenas prácticas y operación aplicables a las diferentes técnicas isotópicas con que cuenta la escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales del ITCR, especialmente en lo referente a seguridad radiológica. Se realizó una revisión del equipo de

radiotrazadores recientemente donado por el OIEA y se efectuaron algunas prácticas sobre simulación y determinación de tiempos de residencia.

No se recibieron las recomendaciones de la visita ni el informe por parte del experto de esta actividad.

## **Anexo 2**

### **Actividades complementarias**

Durante el desarrollo del proyecto, parte del equipamiento, por ejemplo las fuentes radioactivas, que estaban por arribar en el 2004, no llegaron en forma oportuna, esto hizo que también no se concretara la venida del experto Mario Cano para ese periodo, también se consideró oportuno posponer el arribo al país de un experto en el área de trazadores, con el propósito de poder definir mejor la forma en que se podría contar con el material radioactivo necesario.

En el bienio 2003 – 2004 fue necesario completar los diversos manuales de procedimientos operativos, tratamiento de eventuales emergencias radiológicas y demás requerimientos exigidos por el Ministerio de Salud para la operación de fuentes radioactivas selladas y abiertas, fue muy oportuna las observaciones de los expertos internacionales y la capacitación recibida en el exterior, a fin de completar satisfactoriamente esta importantísima tarea.

Resultó de mucha importancia para este proyecto COS/8/009, la visita del “evaluador” por parte del OIEA de Joon-Ha Jin, él constató la instalación y funcionamiento del equipamiento que fue donado por el Organismo, participó en charlas con el personal profesional capacitado de nuestra Escuela, impartió charlas a los estudiantes y se visitó Recope y la plan de generación de energía eléctrica por medio de geotermia que tiene el ICE en Miravalles, Guanacaste.

Con la visita del Dr. Jin en noviembre del 2004 se logró ampliar por un año más el desarrollo del proyecto, se amplió el monto original para equipamiento, se agilizó el envío de las fuentes radioactivas restantes y se programó de manera más precisa la venida de los expertos que aún faltan. En general fue muy provechoso realizar esta reformulación y ampliación, de manera que se tuviera más tiempo y recurso para el desarrollo pleno del proyecto.

Al finalizar el 2004 se esperaba haber completado la capacitación del personal, las visitas de los expertos y con la llegada del equipamiento solicitado. Dado que las fuentes radioactivas no llegaron a tiempo y algunas de las visitas de experto estaban sujetas a que las mismas llegaran, el desarrollo de las actividades se ha retrasado; sin embargo con la reformulación al proyecto y la nueva inyección de recursos que le dio la visita del Dr. Jin a finales del 2004, se ha conseguido durante el 2005 completar las actividades pendientes, por tanto se tiene actualmente una elevada congruencia entre lo esperado y lo que se alcanzó.