

Funcionamiento del "intercambiador neumático rápido" durante los ensayos del experimento TARC en el CERN

E. CERRO (*); O. GONZÁLEZ, J. BUENO, J. ALEXANDRE, J. TAMARIT (**)

RESUMEN El CEDEX ha diseñado y desarrollado un intercambiador neumático de muestras ("Rabbit") que ha permitido realizar numerosos ensayos para validar los estudios teóricos del amplificador de energía en el CERN, dentro del programa "Nuclear Fission Safety" de la Unión Europea.

En un artículo anterior publicado en Ingeniería Civil nº 103/1996, se describió el diseño y desarrollo del "Rabbit". En este se describe su ubicación en la zona experimental de ensayos en las instalaciones del CERN en Ginebra y los resultados de su funcionamiento durante la semana principal de extracción rápida donde el rabbit se utilizó ininterrumpidamente día y noche.

OPERATION OF THE PNEUMATIC EXCHANGER OF SAMPLES DURING THE REALIZATION OF TARC EXPERIMENTS AT CERN

ABSTRACT The CEDEX has designed and developed a pneumatic exchanger of samples ("Rabbit") that has permitted to make several tests to validate the theoretical studies of the energy amplifier at CERN, under the program "Nuclear Fission Safety" of the Europe Union.

In a previous article published in this review, issue 103/1996, it was described the design and development of the system. In this, it has described its location in the experimental area at CERN (Geneva), and the results of the performance during the main fast extraction week, when the rabbit was used full time.

Palabras clave: Amplificador de energía; Transmutación radiactiva; Intercambiador neumático de muestras.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto del Amplificador de Energía es una amplia colaboración internacional liderada por el Prof. Carlo Rubbia, en la cual toman parte varias instituciones españolas entre las que se encuentra el CEDEX.

El CEDEX, a través del Departamento de Técnicas Físicas y Electrónicas, cuyo responsable es el Dr. Jaime Tamarit, ha contribuido ya al proyecto en fases anteriores, participando directamente en las medidas calorimétricas con el termómetro de Uranio.

Con objeto de realizar el estudio experimental del mecanismo TARC (explicado posteriormente), al equipo del Departamento de Técnicas Físicas y Electrónicas del CEDEX le fue encomendada la responsabilidad de diseñar un intercambiador neumático de muestras así como la interfaz electrónica, mantenimiento y operación del mismo. Este sistema, denominado RABBIT, fue desarrollado en dicho departamento del CEDEX durante los últimos meses de

1995. Su instalación en Ginebra, calibración e integración en el equipo global de toma de datos, tuvo lugar durante el año 1996.

EL EXPERIMENTO TARC

Uno de los problemas más relevantes de la producción de energía nuclear (ya sea por fisión o por fusión), constituye la gestión de los residuos altamente radiactivos y de larga vida media.

La velocidad de desintegración de un radionucleido no puede modificarse por medios externos. Sin embargo, pueden usarse transformaciones nucleares secundarias que conviertan las especies radiactivas más "intratables" en otras más manejables (con vida media corta, por ejemplo). De estas transformaciones, las que demuestran ser más eficientes son aquellas basadas en capturas por neutrones térmicos, introduciendo los radionucleidos en un Reactor nuclear por ejemplo. Si se utiliza la *región de resonancia* para la captura, el uso de neutrones ofrece una mayor eficacia. El nuevo método denominado TARC (Transmutation by Adiabatic Resonance Crossing), permite elevar considerablemente el porcentaje de capturas, extrayendo de cada elemento las resonancias más favorables y produciéndose así más transmutaciones.

(*) Ioda en C. Físicas. Doctorando en la U de Birmingham (Reino Unido).

(**) Sector de Técnicas Físicas y Electrónicas del CETA del CEDEX (Ministerio de Fomento).

El acceso a la región de resonancia con propósitos de incineración, abre un amplio campo de posibilidades tanto para Fragmentos de Fisión como para Actinidos. El experimento TARC constituye el primer test experimental de transmutación de residuos radiactivos mediante un flujo de protones que incide sobre un bloque de plomo el cual actúa como fuente de espalación y como medio difusor de los neutrones producidos.

El objetivo del experimento TARC a realizar en el CERN, es verificar directamente la eficacia del proceso, Adiabatic Resonance Crossing, como mecanismo de captura y posterior transmutación de fragmentos de fisión de larga duración. Para ello, se dispuso de un bloque de plomo (360 T), cuya dimensión lineal mínima era del orden de 3 metros, para que pueda contener sin pérdidas apreciables todo el flujo neutrónico, hasta cuyo centro se hizo llegar un haz de protones de baja intensidad (unos 10^9 protones por pulso, de 0.7-3.7 GeV de energía, cada 14.4 segundos aproximadamente) y de 1 GeV de energía cinética, proveniente del PS del CERN.

POR QUÉ UN "RABBIT"

En varias posiciones del bloque de plomo se instalaron muestras de algún fragmento de fisión (como ^{99}Tc y algunos más), con objeto de medir la cantidad de ^{100}Tc producido, que tras una rápida desexcitación y sufre una desintegración β a ^{100}Ru , que es estable.



El semiperiodo de desintegración β es de unos 15 segundos, por lo que da tiempo a sacar rápidamente la muestra entre pulsos, con ayuda de un intercambiador neumático de alta precisión (llamado "rabbit"), que en décimas de segundo transporta la muestra desde su posición de irradiación hasta un detector de GeLi de alta pureza, situado en

una habitación contigua, a unos 23 metros, y la devuelve a su posición original tras hacer la medida. Dicho detector es capaz de medir el decaimiento gamma del ^{100}Tc hacia ^{100}Ru y la desexcitación gamma del ^{100}Ru metastable hacia su nivel fundamental, midiendo de esta forma la cantidad de ^{99}Tc transmutada y convertida en un elemento estable. Para todo ello se requiere de precisiones en la posición de llegada de la muestra superiores al milímetro y un proceso de frenado suave.

2. UBICACIÓN DENTRO DEL CERN

El complejo de aceleradores PS del CERN está formado por nueve aceleradores que proporcionan haces de protones, antiprotones, iones de Pb, electrones y positrones. Los distintos haces de partículas son distribuidos a otras máquinas o áreas físicas de acuerdo con un horario preestablecido, cubriendo un total de 6300 horas/año.

La figura A muestra un esquema gráfico de dicho complejo PS del CERN.

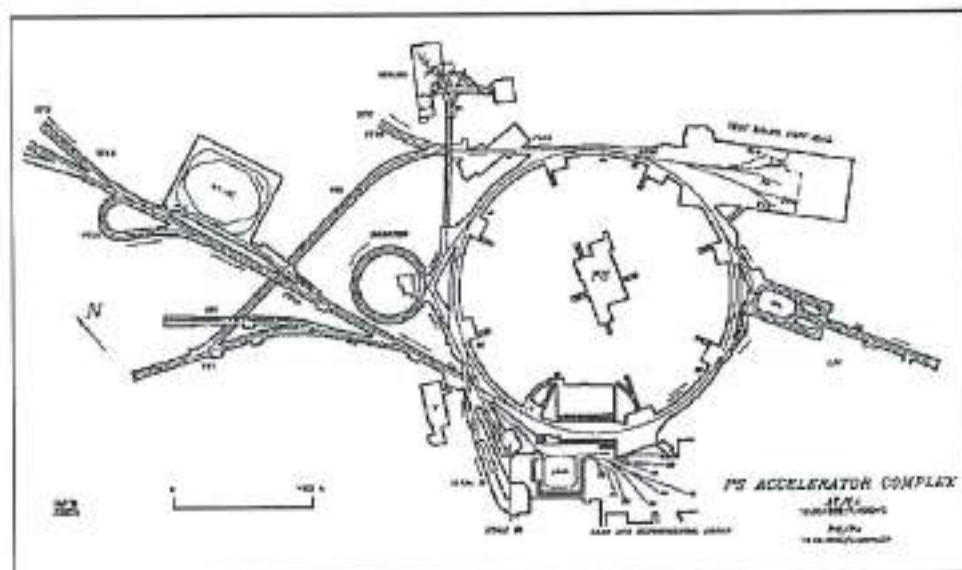
Un haz de protones proveniente del PS/CERN alimenta directamente la llamada "East Area", una de las cuatro áreas experimentales de las que dispone el CERN. En la "East area" se realizan numerosos test experimentales, entre ellos el Experimento TARC.

El Rabbit fue instalado en la zona de ensayos T7 dentro de la "East Area". La salida del flujo protónico es dirigida a una amplia sala, completamente blindada con hormigón, denominada zona de irradiación (o "área experimental", como la llamaremos mas adelante). El acceso a esta sala estaba limitado solo a personas con autorización expresa para entrar, y siempre provistas de un dosímetro personal para controlar la dosis de radiación absorbida.

3. INSTALACIÓN DEL RABBIT EN LA ZONA EXPERIMENTAL DE ENSAYOS

Cuando el Rabbit fue trasladado a Ginebra desde el CEDEX, se instaló previamente en una nave del CERN para su verificación y comprobación antes del ensayo. Su instalación definitiva en la zona experimental de ensayos comenzó a finales de Marzo de 1996. El Rabbit estuvo a punto para co-

FIGURA A.



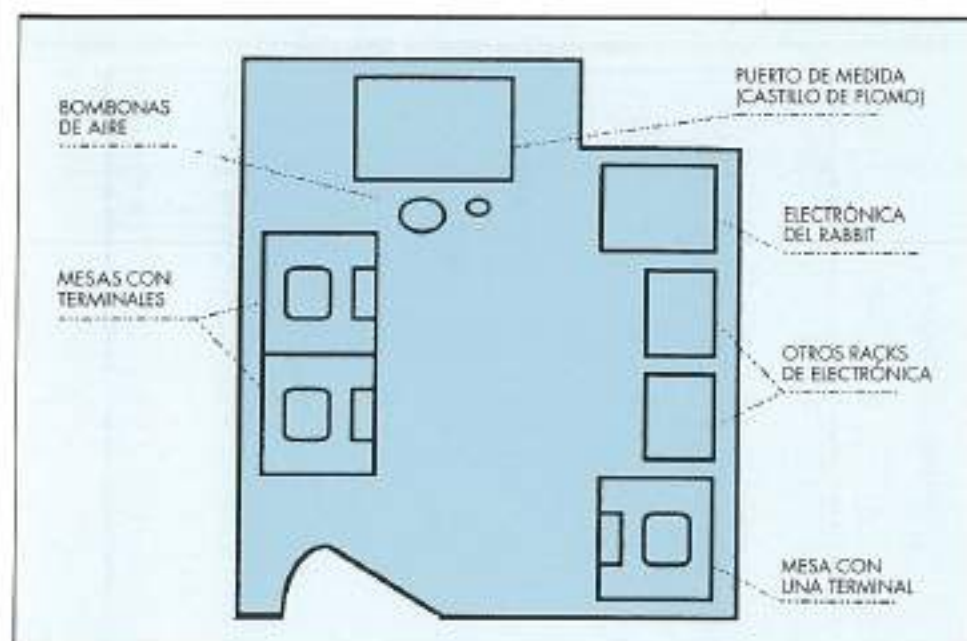


FIGURA 3.

menzar el ensayo real el día 24 de Abril de 1996, según el horario previsto.

LA COUNTING ROOM. PUERTO DE MEDIDA

La sala de conteo es una habitación contigua a la zona de irradiación, libre de radiactividad y donde se colocaron todos los equipos electrónicos (figura 3).

En esta sala y dentro del castillo de plomo se encuentra el puerto de medida, aquí llega la capsula con la muestra irradiada en su interior procedente del area experimental.

La capsula llega guiada dentro del tubo de plástico deteniéndose siempre en la misma posición enfrentada a los dos detectores de germanio que miden la radiación gamma emitida por la misma. Las transferencias y posicionamientos de la capsula son controladas por el sistema de control electroneumático del rabbit y estaban sincronizadas con la llegada del haz de protones y los sistemas de adquisición de datos.

Dentro del puerto de medida se instalaron dos sensores ópticos, que proporcionaban información al sistema de medida con precisiones inferiores al mm del correcto posicionamiento de la capsula.

EL ÁREA EXPERIMENTAL. PUERTO DE IRRADIACIÓN

La zona de irradiación consistía de una amplia sala completamente blindada de hormigón, en la que desembocaba el haz de partículas provenientes del acelerador.

El elemento principal era el bloque de plomo, de forma aproximadamente cilíndrica con una masa total de 334 toneladas, dentro del cual se producía un flujo de neutrones, debido a la reacción de espalación por efecto del haz de protones.

El bloque de plomo contaba con doce agujeros paralelos a su eje principal, en los cuales se introducía el puerto de irradiación. La capsula portamuestras se detenía en la posición final del puerto un tiempo aproximado de dos segundos antes de regresar al Puerto de Medida.

Durante ese tiempo, el bloque de plomo era irradiado

por el haz de protones, teniendo lugar la reacción de espalación.

Uno de los parámetros influyentes en el proceso de captura neutrónica, era la proximidad a la que se encontraba la muestra de tecnecio con el centro de espalación del bloque de plomo. Esta variable era, en definitiva, la profundidad a la cual estaba el extremo final del tubo metálico dentro del bloque.

El sistema de medida necesitaba reconocer en que agujero se encontraba y a que profundidad, para conocer con exactitud la posición de la capsula dentro del bloque de plomo. Para ello el rabbit suministraba al equipo de medida información digital mediante unos microswitches con un decodificador y una señal analógica calibrada con un sensor de desplazamiento por hilo tipo potenciométrico.

Para realizar un cambio de posición rápido del puerto de un agujero a otro se montó una estructura —soporte estable que permitía realizar todas las operaciones manuales en la zona con la mayor rapidez y seguridad posible—.

Además del puerto de irradiación se encontraba en esta área la caja de guantes que se utilizaba como puerto de entrada/salida de muestras en el circuito neumático abierto al exterior a través de los filtros situados en la caja de guantes.

4. ALGUNOS RESULTADOS PRELIMINARES DEL ANÁLISIS DE DATOS DEL RABBIT

Los detectores de la radiación γ (HPGe- High Purity Germanium) nos proporcionaron el número de emisiones γ provenientes de las muestras irradiadas. Utilizando este parámetro además de la eficiencia del detector, el Branch Ratio de la desintegración y la semivida del radionucleido, podemos conocer el número de capturas γ , por tanto, el número de núcleos transmutados. (figura 1).

Se construyó un castillo de plomo para disminuir al máximo el fondo existente en la counting room y tener un espectro de fondo muy bajo y poder calcular, como consecuencia, la tasa de transmutación con el mínimo error.

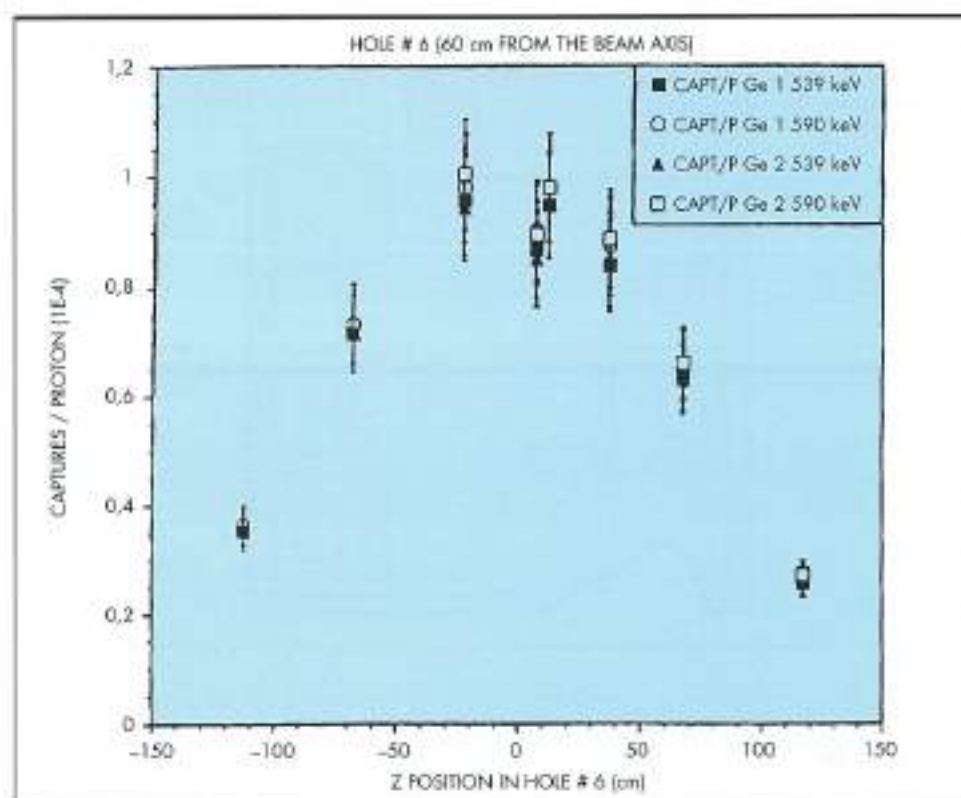


FIGURA 1.

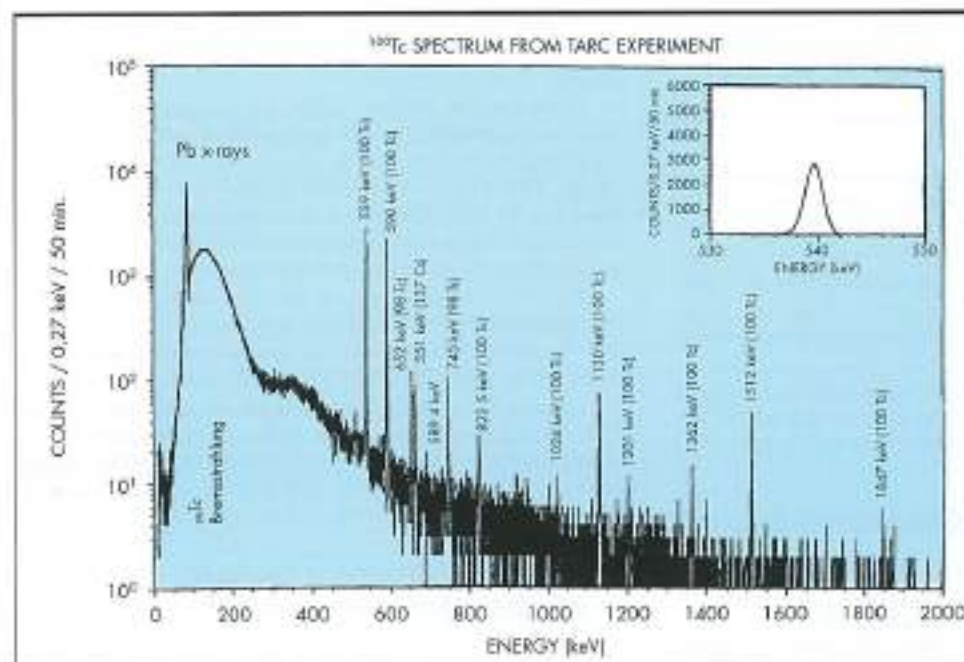


FIGURA 2.

Además, se colocaron láminas de plomo, cobre y aluminio enfrentadas a los detectores, para eliminar el Bremsstrahlung (o radiación de frenado) procedente de la radiación Beta emitida por el ^{100}Tc al interactuar con el cristal de Germanio u otro material del detector. La lámina de plomo detiene estos rayos X de Bremsstrahlung, el cobre detiene los rayos X originados en la lámina de plomo y el alu-

minio para los rayos X procedentes de la lámina de cobre.

Así, filtrando estas cuentas, se pudieron obtener espectros muy "limpios" del ^{100}Tc (figura 2).

Con objeto de comprobar experimentalmente la vida media del ^{100}Tc (conocida como 15.8 s en la literatura), se modificó la frecuencia del ciclo de irradiación a un valor de 43.2 s. El valor obtenido fue de $15.76\text{s} \pm (0.3\text{s})$, según la figura 3.

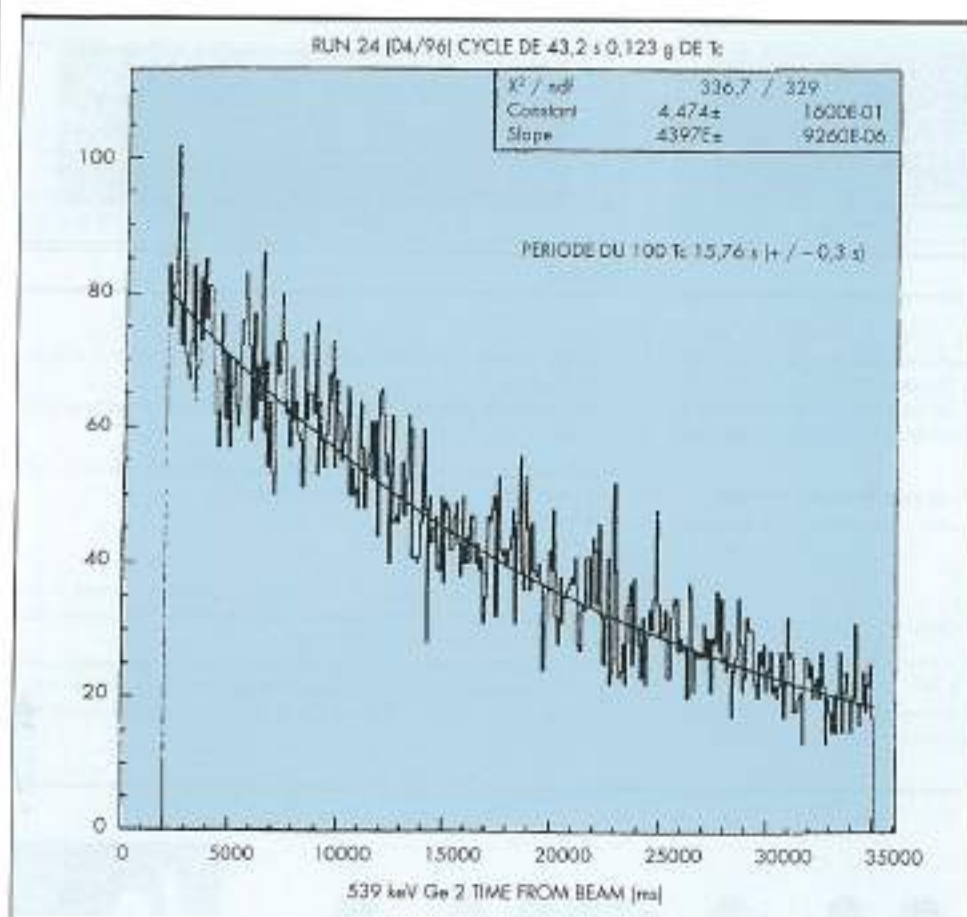


FIGURA 3.

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL FUNCIONAMIENTO DEL RABBIT

Se realizaron algunos análisis estadísticos sobre las llegadas defectuosas que sufrió la cápsula durante la semana de ensayo de Julio. Así se comprobó si este parámetro era de naturaleza aleatoria o determinista.

Al ser el Rabbit un sistema neumático, su funcionamiento está sometido a fluctuaciones de presión que pueden producir ligeras variaciones en los parámetros y modificar

así su comportamiento. Aunque dichas fluctuaciones son completamente aleatorias, los niveles de presión también se pueden ver influenciados por otros factores "controlables", como son los diferentes pesos de las diferentes muestras insertadas en el sistema; el desgaste o suavizado de la cápsula, modificación de la posición de los sensores de paso hacia los puertos, etc.

Así para la muestra de 441 mg de Tc se obtuvo un máximo de 3.7 % de malos posicionamientos en el ensayo nº 564 en 300 ciclos ininterrumpidos (figura C).

El análisis estadístico de los tiempos (segundos) que invertía la cápsula en llegar de un puerto a otro, se realizó utilizando los datos tomados "on line" durante la semana de ensayo. La estabilidad en el comportamiento de estos parámetros, demostraba una vez más el excelente funcionamiento del Rabbit y la regularidad de sus operaciones (figuras D y E).

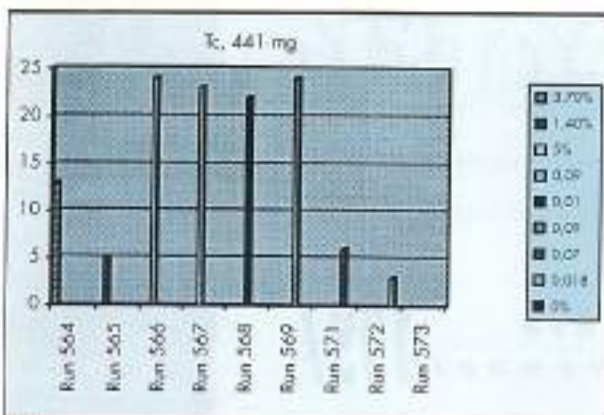


FIGURA C.

6. CONCLUSIONES

La minuciosa actuación llevada a cabo durante la fase de instalación y puesta a punto del Rabbit en la zona experimental de ensayos, se vio reflejada en el éxito obtenido durante la adquisición de datos.

La fiabilidad de los resultados obtenidos, así como su consecuente interpretación física, fueron posibles gracias al enorme número de datos tomados en la semana de ensayo, durante la cual el Rabbit estuvo funcionando ininterrumpidamente las veinticuatro horas del día.



FIGURA D.

El sistema intercambiador neumático de muestras, Rabbit, desarrollado por el Departamento de Técnicas Físicas y Electrónicas ha permitido estudiar la viabilidad del Amplificador de Energía con propósitos de incineración de residuos de alta actividad y vida media larga.

Algunos datos referentes al cumplimiento de especificaciones requeridas

- **Tiempos de Tránsito** entre los Puertos, recorriendo una distancia de ≈ 22 m:
 - De Medida a Irradiación: 1,54 s
 - De Irradiación a Medida: 1,26 s
 - (Datos promediados entre 100 ciclos)
- **Posicionamientos erróneos en el Puerto de Medida:**
 - Cápsula con Tc, 441 mg, RUN # 564
 - 12 malos posicionamientos, porcentaje 4 %
 - (Después de 300 ciclos de funcionamiento ininterrumpido)



FIGURA E.

- **Delay**, tiempo de retraso entre la llegada de la cápsula y la señal de Medida:
 - Alrededor de 160 ms, dependiendo del peso de la cápsula utilizada en cada RUN.
- **Velocidad de entrada al Puerto de Medida**, recorriendo 15 mm antes de detenerse definitivamente.
 - Alrededor de 2,6 m/s

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la colaboración especial en el grupo de trabajo del "Rabbit" durante los ensayos en el CERN de Enrique Gonzalez, José Galvez, Sagrario Díez y Verónica Lucote.

Asimismo agradecemos la colaboración a los muchos otros compañeros, científicos españoles y extranjeros que participaron en el experimento TARC y en especial en el diseño y definición de la instrumentación desarrollada en torno al "rabbit".

CANAGUA



VI Salón Internacional
del Agua, Energía
y Medio Ambiente

VI International Fair
of Water, Energy
and Environment

Unelectric

II Salón de la Aparatación Eléctrica

and Exhibition of Electrical Switchgear



Institución Ferial de Canarias
INFECAN



26 - 30 **Noviembre** **1997**
November





Dragados

Acceso Norte a Buenos Aires. Autopista Panamericana



*Ampliación Dársena Sur.
Puerto de Valencia*

*Presa de Vadomojón.
Baena, Córdoba*



CALIDAD
Dragados

INGENIERIA CIVIL

- Agronomía
- Obras Hidráulicas
- Ingeniería Sanitaria
- Estudios y Proyectos Medioambientales
- Ingeniería de Costas
- Ordenación del Territorio y Desarrollo Regional
- Geología y Minería
- Ingeniería del Transporte



INFORMES Y PROYECTOS, S.A.,
es una empresa de Ingeniería y Consultoría con más de 25 años
de experiencia en los campos de la Ingeniería Civil, Industrial,
de Recursos Naturales y de Tratamiento de Residuos.



General Díaz Porlier, 49 - 28001 MADRID Tel. (91) 402 55 04 - 402 50 12 Fax (91) 402 13 91
Plaza Fernando Lesseps, 33 - 08023 BARCELONA Tel. (93) 415 00 17 Fax (93) 214 05 25
DELEGACIONES EN: SEVILLA, ZARAGOZA, GIJÓN, GALICIA, MURCIA Y VALENCIA.

