

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NP 1	AÑO 1983

CNEA-NT 23/83

04.83.21

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación
GERENCIA DE DESARROLLO

FACILIDAD DE IRRADIACION PARA ALTAS TEMPERATURAS RA-I
Y DISPOSITIVO PARA MEDICION "IN SITU"
DE CRECIMIENTO POR IRRADIACION

A.M. FORTIS; E. MEZZABOLTA y H.C. GONZALEZ

Buenos Aires

1983

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la permanente asistencia del personal encargado del Reactor RA-1, la colaboración en las soldaduras del Ing. P. CABOT y del Sr. H. FERNANDEZ y, muy especialmente, al Sr. J.A. FRACCHIA por su colaboración en el armado e instalación de la facilidad y los dispositivos y a los Ldos. G. COCCOZ y F. JUSTUS por su asistencia en las irradiaciones. Los autores desean, asimismo, expresar su especial reconocimiento por las sugerencias brindadas por el extinto Dr. T. BLEWITT.

FACILIDAD DE IRRADIACION PARA ALTAS TEMPERATURAS RA-I Y
DISPOSITIVO PARA MEDICION "IN SITU" DE CRECIMIENTO POR
IRRADIACION.

INTRODUCCION

En materiales sometidos a irradiación neutrónica suelen producirse deformaciones substanciales aún cuando no estén sometidos a tensiones. Cuando estos cambios de forma van acompañados por un cambio en la densidad, es lo que se conoce como hinchazón -"swelling"-pero, cuando no hay cambio de volumen apreciable asociado a estos cambios de forma, el fenómeno es conocido en la literatura como crecimiento por irradiación. Este fenómeno se manifiesta en forma notoria en materiales con estructura anisotrópica, lo que lleva a pensar que existe un neto transporte de materia en ciertas direcciones preferenciales.

Entre los factores que afectan al crecimiento se encuentran la anisotropía cristalográfica, la densidad de dislocaciones, el tamaño de grano y su forma, la dosis neutrónica, la temperatura, etc. Estos factores participan de un modo complejo haciendo difícil la interpretación de los resultados (1) (2) (3).

Las primeras observaciones de crecimiento fueron hechas en muestras cilíndricas de uranio, las cuales sufrían grandes incrementos en su longitud al ser sometidas a irradiación neutrónica, superiores al 100% para dosis moderadas. En 1961 Buckley (4) señaló que varios materiales usados en reactores nucleares sufrían cambios dimensionales durante la irradiación, como el grafito, usado como moderador y reflector, y el circonio y sus aleaciones, usado en los tubos de presión y en las vainas de elementos combustibles.

El ritmo de crecimiento de la mayoría de las aleaciones de circonio es inferior al del uranio, por ejemplo, pero se han detectado cambios de longitud importantes en tubos de presión de reactores después de largo tiempo de estar expuestos a radiación.

Los datos sobre variaciones dimensionales provienen, en su mayoría, de mediciones posirradiación. En muchos casos es difícil comparar datos de distintos autores debido a que se han obtenido en reactores diferentes con espectros energéticos no siempre bien conocidos. Sólo se ha medido en forma continua el crecimiento en dispositivos para medir creep bajo irradiación adaptados (5), pero no son muchos los datos de cinética del crecimiento, sobre todo a bajas dosis.

Con el objeto de estudiar este problema en el circonio, usado como material básico en varias aleaciones de uso nuclear, se pensó en diseñar un dispositivo de medición continua, que permitiera estudiar el fenómeno desde dosis muy bajas y con la posibilidad de variar los factores que inciden en el cambio de dimensiones.

Se trató de obtener la máxima sensibilidad de detección de modificación dimensional en una dirección, como para distinguir los ritmos de crecimiento en los primeros instantes de la irradiación. Esto es importante para determinar como influyen en la medida final del crecimiento factores como el relevado de tensiones residuales, muy difíciles de eliminar con tratamientos térmicos previos, o los cambios de volumen debido a la aparición de sobreconcentraciones de defectos puntuales por causa de la radiación.

Con mediciones "in situ" y continuas de la cinética del crecimiento conseguimos evitar el manipuleo de probetas luego de irradiadas, hacer irradiaciones en tiempos relativamente cortos evitando variaciones de flujo local y disminuir, consecuentemente, el error en las mediciones.

El equipo diseñado para realizar estas experiencias se montó en el reactor RA-1 de CNEA y consta de una facilidad de irradiación y de un dispositivo de medición de variaciones dimensionales.

I. FACILIDAD DE IRRADIACION

Esta instalación se construyó de modo tal que tuviese la suficiente versatilidad como para ser utilizada en otras experiencias, además de las del tipo descripto en este trabajo.

Su concepción es muy simple: consiste, esencialmente, de un tubo de aluminio de sección circular cuyo extremo inferior se introduce en el núcleo del reactor. En el interior de dicho tubo y en correspondencia con la zona de máximo flujo neutrónico del núcleo se montó un horno también de aluminio y de baja inercia, calefaccionado eléctricamente. Este horno, que posee una sección transversal anular, permite alojar diferentes tipos de dispositivos en su interior, conteniendo probetas, para realizar sobre ellas mediciones bajo irradiación de fenómenos de diversa naturaleza. El tubo es llenado con gases inertes y, por medio de la conductividad térmica de los mismos y de la acción calefactora del horno, se fija la temperatura de ensayo.

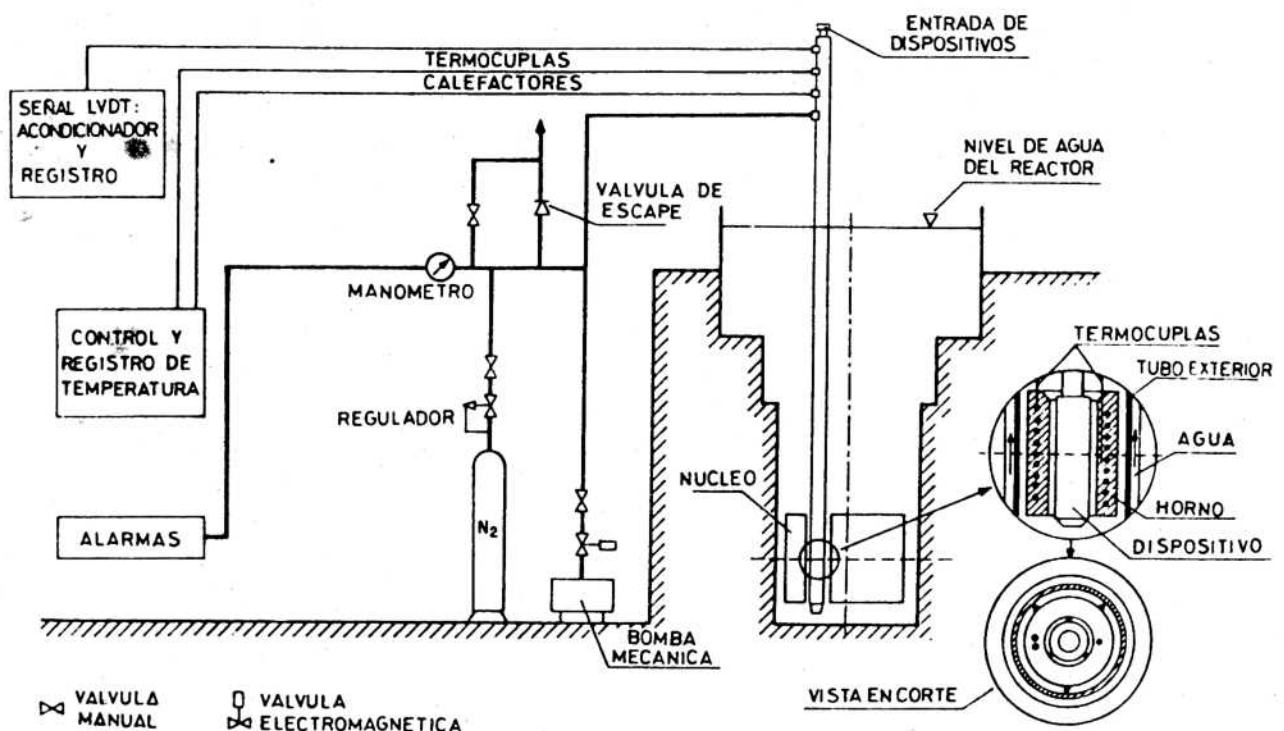


Fig.1 - Esquema general de la facilidad de irradiación instalada en el reactor RA-1.

En la Fig.1 se muestra un esquema general de la facilidad en el cual se pueden apreciar, además del tubo y del horno mencionados, las instalaciones complementarias compuestas por sistemas de bombeo para el vaciado previo de la facilidad, tubos de gas para el llenado, control de inyección de gas, reductores de presión, válvulas, control y registro de temperatura y sistemas de alarma y parada del reactor.

Para el diseño se tuvieron en consideración las siguientes premisas:

- El lugar disponible en el núcleo del reactor para ubicar la facilidad condicionaba las dimensiones del tubo, cuyo diámetro interior se fijó en 40 mm.
- La facilidad debía ser introducida en el núcleo y fijada a él, pero con la posibilidad de extracción en los períodos de inactividad experimental.
- Los dispositivos de medición debían ser introducidos y extraídos sin necesidad de desmontar la instalación.
- Todos los materiales utilizados, así como también los sistemas de medición y control que se alojaran dentro del núcleo del reactor debían ser resistentes a la radiación neutrónica y soportar las temperaturas de trabajo sin que se produjesen cambios sensibles de sus propiedades. Además, debían presentar, en su mayoría, un período de decaimiento corto en caso de ser activados por la radiación neutrónica.
- Todos los circuitos de operación de la facilidad debían ser de fácil y rápida conexión y desconexión.

La facilidad se presuriza levemente con gas inerte impidiendo de ese modo la entrada del agua, que actúa como moderador, al tubo, en caso de que éste sufriese una perforación, lo cual podría dañar el dispositivo alojado en su interior y, además, podría provocar la puesta del reactor en condiciones de supercrítico, como consecuencia de la variación de su reactividad.

Las temperaturas máximas a las que se realizan las experiencias oscilan en torno de los 300°C. Este hecho, sumado al bajo valor de la radiación y presente en el núcleo del RA-1,

determinó que se adoptara el efecto Joule como medio de generación de calor. Para ello se coloca dentro del tubo de irradiación un horno de igual geometría con una separación entre ambos de 1 mm en el radio, y de una longitud de 30 cm de modo de asegurar una zona de temperatura constante en el sentido axial, por lo menos igual a un tercio del largo del horno. Esto limita la longitud de las probetas a un máximo de 10 cm.

El cuerpo del horno es un cilindro de aluminio en el cual se bobina un calefactor de Ni-Cr de tipo compacto, con aislación de OMg y con vaina de acero inoxidable AISI-316. El bobinado de dicho calefactor se hizo de tipo no inductivo (dos espiras próximas y de sentido opuesto) para evitar la influencia sobre los sistemas de medición. El control de temperatura se hace a través de tres termocuplas ubicadas a distintas alturas del horno, actuando la central como termocupla de regulación y las otras dos como indicadoras del perfil de temperatura del horno.

Se usaron termocuplas de Cr-Al envainadas en acero inoxidable y aisladas con óxido de Mg, diseñadas especialmente para ser resistentes a la radiación y fabricadas por TERMOQUAR según los requerimientos solicitados.

Para asegurar un buen contacto térmico entre la bobina del calefactor y el cuerpo del horno, se metalizó por proyección sobre el tubo de aluminio sobre el cual se devanó previamente el calefactor en ranuras torneadas ad-hoc (Fig.3a). Se logró así un horno con excelente respuesta a cambios de temperatura.

Las reducidas dimensiones del horno, la alta conductividad del sistema (compuesto casi enteramente de aluminio puro) y la exigencia de una regulación estricta de temperatura, obligó a la elección de un regulador de temperaturas de acción diferencial. Estas características constructivas permitieron realizar ensayos con la facilidad, operando a diferentes temperaturas, en los cuales no se detectaron diferencias superiores a los 2°C entre las temperaturas indicadas por la termocupla central y las extremas.

La activación del sistema por acción de la radiación neutrónica se reduce al elemento calefactor del horno, ya que el resto de la facilidad está construída casi íntegramente en aleación de aluminio.

El espacio útil del horno, disponible para introducir los dispositivos experimentales es un cilindro de 26 mm de diámetro y una longitud aproximada de 300 mm.

II. DISPOSITIVO PARA MEDICION DE CRECIMIENTO POR IRRADIACION

La experiencia de medición del crecimiento por irradiación se realiza del siguiente modo: un par de láminas metálicas de idénticas dimensiones son vinculadas rígidamente entre sí por sus extremos. Estas láminas se construyen partiendo de la misma aleación y dopando una de ellas con 1000 ppm de un isótopo de un material fisiónable y la otra con igual proporción de isótopo no fisiónable del mismo material. Ambas sufren idénticos procesos de laminación y tratamiento térmico.

Al ser sometido el par a radiación neutrónica la lámina que posee material fisiónable sufre un daño equivalente a una dosis neutrónica mucho mayor que la otra lámina. Como consecuencia, sufre un cambio dimensional mayor y el par se curva. La casi idéntica composición de ambas aleaciones, que sólo se diferencia en el isótopo dopante (del mismo elemento en ambos casos) hace que sus propiedades físicas intensivas sean prácticamente idénticas. Por esto se puede asegurar que las dilataciones térmicas no enmascaran el crecimiento diferencial originado en la radiación.

La curvatura del par se determina en forma indirecta a través de la flecha medida entre sus extremos por medio de un traductor diferencial de desplazamiento. La flecha obtenida magnifica unas 40 veces el crecimiento diferencial, y variaciones de décimas de micrón en la longitud de la lámina que crece se detectan con absoluta precisión. El traductor usado es resistente a la radiación neutrónica, está construído para operar a temperaturas de hasta 500°C, posee un rango lineal de 2.5 mm y su curva de calibración da una señal de 1.5 (milivolt) por

cada micrón de desplazamiento (LVDT); sus dimensiones no son estándar por lo que fue necesario construirlos especialmente. Esto fue hecho, a nuestro pedido, por la firma Schaevitz (USA).

El dispositivo de medición consta de un soporte que vincula rígidamente un extremo de la probeta con el bobinado del LVDT, permitiendo moverse libremente el otro extremo de la misma. A éste se halla unido el núcleo del traductor (Fig.2).

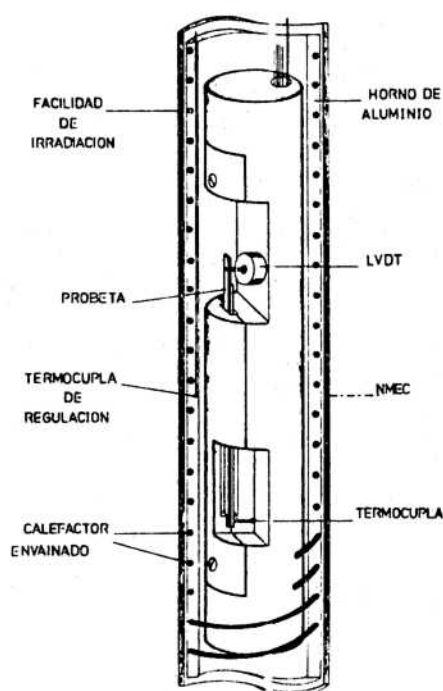


Fig. 2 - Esquema del dispositivo para medición del crecimiento bajo irradiación.

Cuando las temperaturas a las que se mide son relativamente altas el soporte se construye de una aleación de Circonio con la misma textura y tratamiento térmico que las probetas, para evitar que dilataciones relativas entre el soporte y la probeta traben el núcleo del traductor. No deben producirse diferencias de dilatación mayores de 0.2 mm, que es la luz entre el núcleo y el cuerpo del LVDT.

Las temperaturas a las que se realizaron las experiencias

se midieron a través de una termocupla de cromel-alumel de tipo compacto que se puso en contacto con el extremo fijo de la probeta. El uso de masas homogeneizadoras de aluminio en ambos extremos del soporte de probeta aseguran la constancia de la temperatura a lo largo de la misma (Fig.3) (a)(b)(c).

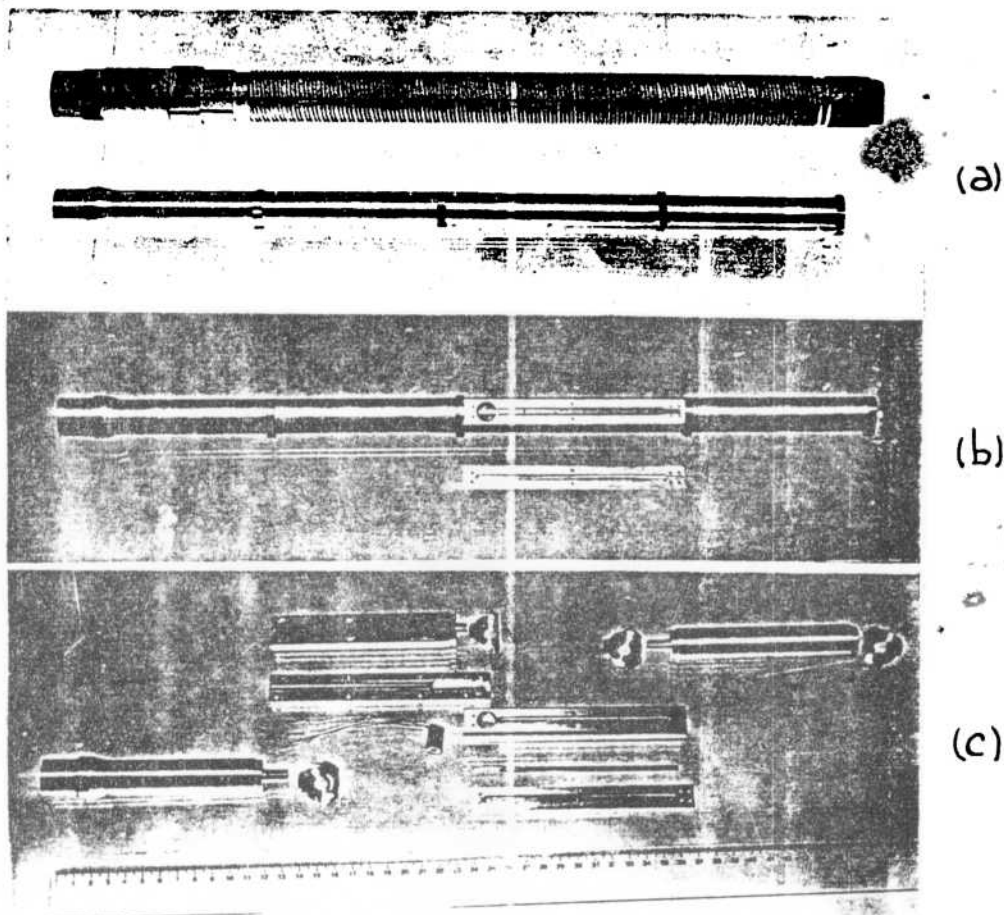


Fig. 3 - (a) Dispositivo de medición de crecimiento y horno previo al bobinado.
(b) Dispositivo y homogeneizadores.
(c) Partes que componen el dispositivo junto a una probeta.

III. COMPORTAMIENTO EXPERIMENTAL

A través de las experiencias realizadas, no se detectó ruido de fondo asociado con vibraciones mecánicas provenientes del reactor, cuya estabilidad de flujo se mantuvo dentro de $\pm 6\%$.

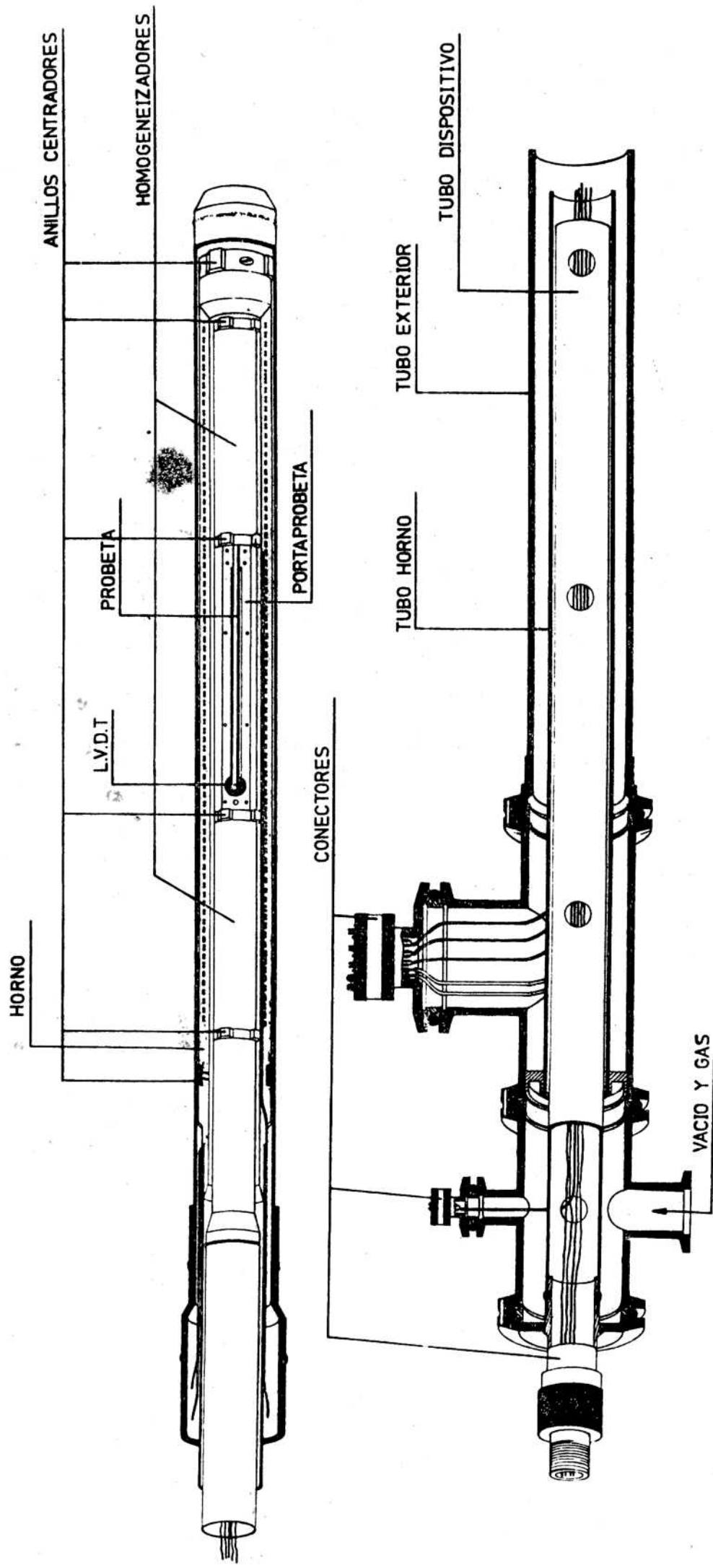


Fig. 4 - Facilidad de irradiación y dispositivo de medición de crecimiento.

En el rango de temperaturas estudiado, el control de temperatura de la probeta fue mejor que 0.2°C . La separación de 1 mm entre el dispositivo y el horno, y el empleo de nitrógeno de alta pureza a una presión absoluta de 0.12 MPa permitió una respuesta rápida del sistema de calentamiento frente a variaciones de la temperatura.

Por otra parte, el calentamiento producido sobre la probeta, como consecuencia de su interacción con la radiación γ presente en el núcleo fue del orden de 10°C para un flujotérmico de aproximadamente 10^{12} n/cm² seg; una vez comenzada la irradiación se alcanzó la estabilidad en la temperatura de la probeta (a 100°C) en treinta minutos.

Un esquema del conjunto compuesto por la facilidad y el dispositivo de crecimiento se observa en la Fig.4; la Fig.5 muestra una curva típica de variación de la flecha con la dosis neutrónica, juntamente con los correspondientes valores del coeficiente de crecimiento $G = \Delta l/l$.

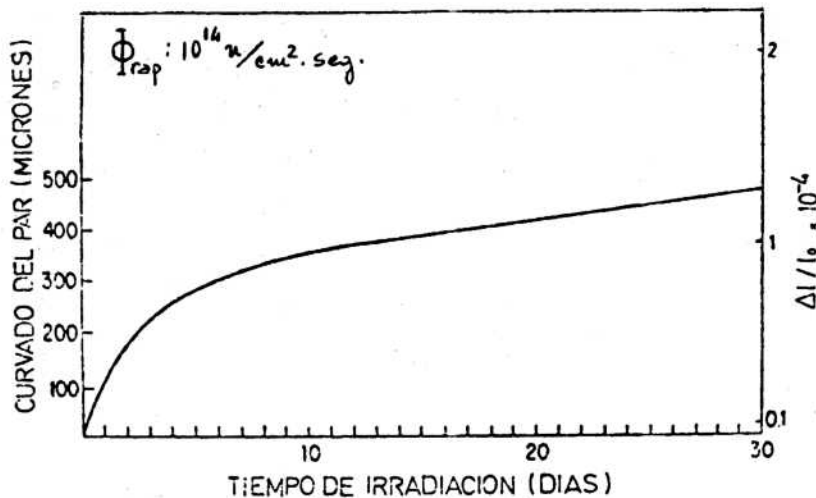


Fig. 5 - Curva típica de variación del crecimiento con el tiempo de irradiación.

IV. CONCLUSIONES

Por tratarse de una experiencia de irradiación neutrónica a temperaturas superiores a la temperatura del reactor, llevada a cabo en el reactor experimental RA1 de CNEA, bajo condiciones de flujo neutrónico y temperatura severamente controlados con el fin de determinar la cinética de los fenómenos producidos por irradiación desde sus primeras etapas (dosis bajas) se puede afirmar que los resultados obtenidos durante la operación de la instalación descripta satisfacen lo previsto durante su diseño, siendo los resultados tan alentadores que permiten asegurar la realización de experiencias de igual o distinta naturaleza en los reactores experimentales que la CNEA posee.

Con respecto al crecimiento por irradiación, se están realizando irradiaciones a diferentes temperaturas, las cuales, junto con experiencias a bajas temperaturas realizadas en un criostato y con diferentes tratamientos térmicos de las probetas, permiten estudiar los mecanismos responsables de la inestabilidad dimensional (6).

Las conclusiones extraídas de este tipo de experiencias son de innegable valor para una mejor comprensión del comportamiento bajo irradiación de los diferentes materiales que componen un reactor nuclear.

BIBLIOGRAFIA

- 1) V. FIDLERIS, AECL-7053, 1980.
- 2) R.B. ADAMSON, ASTM, STP 633, 1977 p.326-343.
- 3) MURGATROYD and ROGERSON, J.of Nucl.Mat. 79 (1979) 302.
- 4) S.N. BUCKLEY, Properties of React. Mat. and the Effects of γ Damage, 413, Butterworths, London, 1961.
- 5) V. FIDLERIS, I.R. EMERTON, R.D. DELANEY, Journal of Physics & Scientific Instruments 1972, vol.5, p.442.
- 6) H.C. GONZALEZ, A.M. FORTIS, T.H. BLEWITT, J.of Nucl. Mat. 108-109 (1982) 485-489.