

J.E.N. 557

Sp ISSN 0081-3397

**SIMULACION EN CIRCUITOS DE AGUA
DE CAPSULAS DE IRRADIACION DE
BARRAS COMBUSTIBLES**

por

LOPEZ, J.

MONTES, M.

SERRANO, J.

HAEFNER, H.E.

JUNTA DE ENERGIA NUCLEAR

MADRID, 1984

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES

E11.00; E37.00
IRRADIATION CAPSULES
FUEL RODS
SIMULATORS
FAST REACTORS
COMPARATIVE EVALUATIONS
T CODES
TEMPERATURE CONTROL
FUEL PINS

Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Documentación Biblioteca y Publicaciones, Junta de Energía Nuclear, Ciudad Universitaria, Madrid-3, ESPAÑA.

Las solicitudes de ejemplares deben dirigirse a este mismo Servicio.

Los descriptores se han seleccionado del Thesaurus del INIS para describir las materias que contiene este informe con vistas a su recuperación. Para más detalles consultese el informe IAEA-INIS-12 (INIS: Manual de Indización) y IAEA-INIS-13 (INIS: Thesaurus) publicado por el Organismo Internacional de Energía Atómica.

Se autoriza la reproducción de los resúmenes analíticos que aparecen en esta publicación:

Este trabajo se ha recibido para su impresión en Febrero de 1984.

Agradecimiento

Nuestro mayor reconocimiento a los Sres. M. de la Torre e I. Melches, de la Sección de Tecnología del Sodio, bajo cuya dirección se han realizado las operaciones de llenado de NaK, así como a los Sres. del Kernforschungszentrum de Karlsruhe, G.W. Sebold, K. Philipp y O. Jacobi por -- sus diversas aportaciones técnicas a lo largo de la experiencia.

- 1.- INTRODUCCION
 - 2.- DISPOSITIVO DE IRRADIACION SIMULADOR
 - 2.1. Cápsula
 - 2.2. Barra calefactora
 - 2.3. Llenado de NaK
 - 2.4. Instrumentación
 - 3.- CIRCUITO DE AGUA
 - 4.- SERIES DE ENSAYOS
 - 4.1. Determinación de la potencia calefactora
 - 4.2. Variación de la potencia de la barra calefactora
 - 4.3. Variación del caudal refrigerante
 - 4.4. Variación de la temperatura del refrigerante
 - 5.- INTERPRETACION DE RESULTADOS MEDIANTE EL CODIGO TECAP
 - 5.1. Breve descripción del código
 - 5.2. Comparación de las temperaturas medidas y calculadas
 - 6.- CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES
- BIBLIOGRAFIA
- TABLAS
- FIGURAS

1.- INTRODUCCION

Este trabajo se enmarca dentro del programa de irradiación de barras combustibles para reactores rápidos, denominado IVO-FR2-Vg7, emprendido conjuntamente por el Centro de Investigaciones Nucleares de Karlsruhe y la Junta de Energía Nuclear, al amparo del convenio para el uso pacífico de la energía nuclear suscrito por la R.F.A. y España /1, 2/. El programa ha consistido en la irradiación de 30 varillas combustibles de óxidos mixtos de uranio y plutonio en el reactor FR2 de Karlsruhe, para el cual se han empleado 10 cápsulas (3 varillas por cápsula) del tipo "sodio-potasio y pared única" por emplear el autéctico 22% Na y 78% K de punto de fusión a -11° C, como medio transmisor del calor, y sólo una pared metálica (acero inoxidable) entre el metal líquido y el refrigerante.

Paralelamente a las irradiaciones, hemos venido realizando en la J.E.N. una serie de ensayos "en frío"(out of pile) con el fin de reproducir el comportamiento térmico de las cápsulas en el reactor, para lo que se han utilizado barras calefactadas eléctricamente en sustitución de las combustibles y un circuito de agua capaz de evacuar regularmente el calor generado.

La cápsula y la sección de ensayo han sido instrumentadas con 12 termopares de Chromel Alumel de 1mm de espesor, que han permitido establecer con precisión el perfil de temperaturas en el interior de la cápsula.

Esta cápsula ha sido fabricada e instrumentada enteramente en la División de Elementos Combustibles y el llenado de NaK ha corrido a cargo de la Sección de Tecnología del Sodio.

Los resultados experimentales se han interpretado mediante el código de cálculo TECAP, que calcula, entre otras magnitudes, las temperaturas, dilataciones térmicas y tensiones en los distintos medios materiales de una cápsula con geometría cilíndrica, generación interna de calor y refrigeración exterior.

La potencia lineal máxima alcanzada en la barra calefactora ha sido de 215w/cm, habida cuenta de las limitaciones en la fuente de alimentación eléctrica del circuito (15kw) y de la propia barra calefactora, no diseñada específicamente para esta experiencia.

Los ensayos realizados han venido a comprobar la curva de calibrado de la cápsula del tipo IVO-FR2-Vg7 en su Versión 1, es decir, la correlación entre: potencia lineal de la varilla, temperatura superficial de vaina y temperatura medida por los termopares adosados a ésta. Hasta ahora estas curvas de calibrado se han obtenido teóricamente, de ahí que los presentes resultados representen una confirmación experimental del mayor interés.

2.- DISPOSITIVO DE IRRADIACION SIMULADOR

2.1. Cápsula

Una cápsula de irradiación del tipo IVO-FR2-Vg7 está constituida básicamente por un confinamiento tubular en cuyo interior se albergan las varillas combustibles a irradiar, bañadas por un medio líquido (NaK) transmisor del calor. Con estas cápsulas se ha pretendido reproducir las condiciones de potencia lineal y temperatura de vaina típicas de las zonas central y extrema superior de una barra combustible en un reactor rápido.

La cápsula simuladora construida para estos ensayos obedece al tipo IVO-FR2-Vg7 en su versión 1; emplea una barra calefactora del mismo diámetro que las varillas combustibles reales, si bien de mucha mayor longitud. En las Figs. 1 y 2 se dan sendos cortes longitudinal y transversal.

Las dimensiones de los medios materiales según un corte transversal son las siguientes:

Medio Material	Radio Interior /cm/	Radio Exterior /cm/	Material
Barra calefactora		0,38	Acero Inox. (1.4981)
NaK	0,38	0,505	NaK (78% K)
Tubo anticonvección	0,505	0,525	Acero Inoxidable
NaK	0,525	0,65	NaK (78% K)
Tubo intermedio	0,65	0,95	Zircaloy
NaK	0,95	1,2	NaK (78% K)
Tubo de la cápsula	1,2	1,35	Acero Inox. (1.4571)

La cápsula simuladora tiene una longitud total de 1.355 mm, estando compuesta por las partes siguientes:

- Tubo de la cápsula de acero inoxidable del tipo 1.4571 de 27 mm de diámetro exterior, 1,5 mm de espesor, y una longitud de 1.155 mm, con un tapón inferior y una cabeza soporte soldados al mismo por el procedimiento TIG.
- Tapón inferior de acero inoxidable, protegido por una caperuza, igualmente de acero inoxidable, que a su vez sirve de centrador respecto al canal refrigerante.
- Tubo intermedio de zircaloy-2, compuesto por 10 partes de 100mm de longitud cada una, y separadas entre sí por centradores de acero inoxidable. Estos centradores cumplen, además, la misión propia con relación a la barra calefactora.
- Tubo anticonvección de 200 μ m de espesor, compuesto por 10 partes de 78 mm de longitud cada una y separadas entre sí por los centradores anteriormente citados.
- Barra calefactora de 7,6 mm de diámetro y 1.285 mm de longitud. Consta de tres partes: una inferior fría de 455 mm, una caliente central de 600 mm y una superior fría de 230 mm, que contiene la conexión eléctrica (30mm).
- Material transmisor del calor (NaK, 276 cm³)
- Cámara de Helio de 20 cm³
- Cabeza soporte y cabeza de cierre, unidas entre sí mediante soldadura blanda. La cabeza de cierre lleva 9 orificios destinados al paso de los termopares y un décimo, de diámetro superior a los anteriores, que alberga el tubo de llenado de NaK, a su vez soldado a la cabeza de cierre por soldadura blanda.

La soldadura de la cabeza de cierre a la barra calefactora, además de asegurar la estanqueidad, tiene la misión fundamental de soportar el peso de la barra, quedando ésta libre por el extremo inferior, y permitiendo, de este modo, la libre dilatación térmica de la misma.

- 9 termopares, de los cuales 8 adosados a la barra calefactora y 1 al tubo intermedio de zircaloy, atraviesan la cabeza de cierre a la cual van unidos por soldadura blanda.

2.2. Barra calefactora

La barra calefactora fue cedida por el KfK para estos ensayos, si bien no está diseñada específicamente para los mismos; tiene un --

diámetro de 7,6 mm, igual que el de las varillas combustibles del experimento de irradiación IVO, y una longitud total de 1.285 mm, con una zona caliente de 600 mm que puede suministrar como máximo 24,3Kw de potencia con una resistencia de $1,18\Omega$. Los terminales eléctricos son, por un lado, un cilindro de cobre en la parte superior de 30 mm de longitud y 3,5 mm de diámetro, y, por otro, la propia vaina de acero inoxidable del tipo 1.4981; como calefactor se emplea una cinta de 4 x 0,3 mm de Vacromiun 70/30. En la Fig. 3 se muestra un esquema de la barra con los materiales y demás datos eléctricos.

La distribución axial de la barra calefactora ha originado ciertos inconvenientes: por una parte, la excesiva longitud caliente de 600 mm ha limitado a sólo 215 w/cm la potencia lineal de la misma al sólo disponer de 15 Kw de potencia total instalada en el circuito, y, por otra, la escasa longitud de la zona fría superior y de los terminales eléctricos ha dificultado la mejor refrigeración de esa zona y la colocación de los terminales.

2.3. Llenado de NaK

El volumen de NaK en el interior de la cápsula hasta la cota prefijada se ha estimado con toda precisión, teniendo en cuenta los espacios vacíos en cada una de las piezas contenidas en la cápsula. Se ha procurado que el NaK bañe toda la zona caliente de la barra calefactora y que su nivel, en funcionamiento, no reduzca excesivamente la cámara de Helio de la parte superior. El volumen obtenido de 276 cm³, permite una cámara de 111 mm de altura a 20°C, suficiente para acomodar las dilataciones del NaK, estimadas en 50 mm a la potencia máxima alcanzable por la instalación (250w/cm).

El llenado de NaK se efectuó por la parte superior a través del tubo destinado a tal fin, procediéndose, una vez terminada la operación de llenado y posterior presurización con He, a su estrangulamiento, corte y soldadura de su extremo. Finalmente, se comprobó la estanqueidad del conjunto mediante detección de fugas de He.

La operación de llenado de NaK de la cápsula precisa el trasvase previo del metal líquido a un depósito de carga calibrado, una vez evacuada la humedad del conjunto mediante vacío prolongado. La Fig. 4 muestra el montaje correspondiente, con la bomba de vacío y botella de Helio en la parte izquierda; el depósito de carga calibrado, protegido de una caja metálica y la cápsula propiamente dicha, en el centro; y el depósito de metal líquido NaK y las botellas de Helio en la parte derecha.

Los detalles sobre el método de llenado de NaK se contienen en el informe /3/.

2.4. Instrumentación

La cápsula está dotada de 10 termopares de Chromel-Alumel de 1mm de diámetro, de los cuales, 8 (TB1 al TB8) van adosados a la barra calefactora, uno al tubo intermedio de Zircaloy (TZy) y otro al tubo exterior de la cápsula (Tc). Un esquema de los mismos se ofrece en la Fig 5.

La posición y función específica de los mismos es la siguiente :

TB1 y TB6: Límites inferior y superior de la zona caliente.

TB3, 4 y 5: Sección media de la zona caliente, situados a 120° de separación azimutal; tienen la misión de detectar las variaciones azimutales de temperatura debidas a posible descentrado de la barra calefactora.

TB 7 : Nivel de NaK a 20° C.

TB 8 : Termopar de seguridad; tiene la misión de detener la alimentación eléctrica de la barra calefactora si el NaK llega a mojarlo.

TZy : Sección media de la zona caliente sobre el tubo intermedio de Zircaloy; permitirá conocer la distribución radial de temperatura en la cápsula.

TC : Sección media de la zona caliente; medirá la temperatura del agua refrigerante en la superficie del tubo exterior de la cápsula.

Los termopares TB y TZy son del tipo técnicamente denominado TI (cabeza de hilos y camisa aislados entre sí) yendo adosados a la superficie metálica por delgadas pletinas de acero inoxidable -- soldadas por puntos; mientras que el TC es del tipo técnicamente denominado TM (cabeza de hilos y camisa soldadas entre sí) y va soldado a la superficie exterior del tubo de la cápsula.

En la Fig. 4 se aprecian los terminales de los termopares emergiendo de la cápsula.

3.- CIRCUITO DE AGUA

El circuito de refrigeración es un circuito para ensayos térmicos de convección con una capacidad de bombeo de 3,6 m³/h de agua (H₂O), provisto de una fuente de alimentación de 15Kw de potencia, a un voltaje de hasta 380 voltios, con cambiador de calor suficiente para extraer todo el calor generado. Como equipo de medidas se utiliza un registrador Multipunto de 12 canales y un

indicador digital. Cuando se opera a temperaturas por encima de la ambiente, como es el caso de los ensayos realizados, es conveniente aislar térmicamente la zona de ensayo para evitar pérdidas innecesarias, sobre todo a temperaturas de refrigerante elevadas.

En los presentes ensayos nos hemos propuesto reproducir, dentro de lo posible, las condiciones hidráulicas de las cápsulas IV0-FR2-Vg7 irradiadas en el reactor FR2, que son las siguientes:

- Diámetro interior del canal refrigerante = 27 mm
- Diámetro exterior del canal refrigerante = 36 mm
- Caudal = $9\text{ m}^3/\text{h}$
- Velocidad = 5,7 m/s
- Temperatura = 50° C
- Refrigerante = D_2O

En el circuito se varía el canal refrigerante a conveniencia, de acuerdo con la experiencia a realizar en el mismo. En nuestro caso, conservaremos las mismas dimensiones del canal refrigerante del FR2, anteriormente citadas; las demás características son las siguientes:

- Caudal máximo = $3,6\text{ m}^3/\text{h}$
- Velocidad máxima = 2,25 m/s
- Temperatura hasta 70° C

La adaptación de la fuente de alimentación eléctrica y el aislamiento eléctrico del circuito, teniendo en cuenta el carácter conductor del NaK - que conecta eléctricamente la vaina de la barra calefactora a toda la cápsula - han sido problemas particulares en estos ensayos. La tensión máxima entre los terminales de la barra calefactora ha sido de 130 V y la intensidad máxima de 110 A.

Una panorámica del circuito CF1F con la sección de ensayo se muestra en las Figs. 6 y 7. Puede apreciarse el canal refrigerante desnudo y con aislamiento, y en la parte superior las conexiones eléctricas con apantallamiento de protección.

A la izquierda el sistema de medida gráfico y digital multipunto.

El circuito lleva dos termopares, uno a la entrada (TE) de la zona de ensayo y otro a la salida (TS), con la finalidad de medir la temperatura de la masa de agua y determinar, por diferencia, el calor desprendido en la barra calefactora y de ahí su potencia lineal.

4.- SERIES DE ENSAYOS

4.1. Determinación de la potencia calefactora

La potencia total de la barra calefactora se ha obtenido por dos procedimientos: el eléctrico, midiendo voltaje e intensidad entre terminales, y el térmico, a partir de la diferencia de temperaturas de la masa de agua a la salida y entrada de la zona de ensayo medidas con los termopares TS y TE, respectivamente. Se ha hecho una primera serie de ensayos para delimitar la relación entre ambos procedimientos, cuyos resultados se expresan gráficamente en la Fig. 8. Puede comprobarse que el acuerdo es bastante satisfactorio dentro de los límites de precisión de los aparatos de medida empleados: amperímetro, voltímetro y termopares. Se observa menor potencia térmica que eléctrica, como es de esperarse dadas las pérdidas de calor del sistema, particularmente en la conexión eléctrica y zona superior de la cápsula.

4.2. Variación de la potencia de la barra calefactora

Se han realizado 20 medidas variando la potencia de la barra calefactora desde 20 w/cm hasta 215 w/cm, y fijando el caudal refrigerante a 2,4 m³/h y la temperatura de entrada del agua a 30°C aproximadamente.

Los valores de temperatura dados por los 12 termopares del sistema (10 en la cápsula y 2 en la sección de ensayo) se dan en la Tabla N° 1.

Puede observarse que la totalidad de los termopares ha funcionado perfectamente a lo largo de los ensayos realizados, no habiéndose producido ninguna rotura o avería de los mismos; no obstante, se han producido un cierto número de peculiaridades en los resultados de medida que señalaremos oportunamente.

Los termopares TB3, TB4 y TB5 situados en la sección central de la zona caliente y adosados a la barra calefactora marcan valores muy cercanos entre sí ($\leq 5^\circ\text{C}$), lo que prueba inequívocamente el buen centrado mecánico de la barra calefactora dentro de la cápsula y de la homogeneidad y simetría del sistema de refrigeración, además de una correcta colocación de los termopares. El termopar TZy, igual que los tres termopares anteriores, da temperaturas crecientes con la potencia lineal, tal como era de esperar.

En cuanto a los valores del termopar TC, situado en la superficie exterior del tubo de la cápsula, hay que distinguir entre los dos sistemas de fijación a la pared empleados: el adosado y el soldado.

En el caso de termopar adosado (TC~~X~~), la temperatura medida no es la de la pared, sino prácticamente la de la masa de agua refrigerante, puesto que el salto de temperatura se produce en la llamada "capa límite laminar", de anchura objeto de discusión pero en cualquier caso muy inferior a los 0,5 mm que separa el punto de medida del termopar y la pared del tubo. Respecto al mismo termopar TC (+) soldado a la pared del tubo, se ha comprobado que las medidas obtenidas se aproximan más a las reales, si bien mayor exactitud hubiera necesitado embeber el termopar a lo largo del tubo /4/ hasta posicionarlo debidamente, operación que se ha omitido por no debilitar el espesor de la pared de la cápsula y disminuir así la seguridad de la misma.

Los termopares TB2 y TB6 que delimitan la zona caliente de la barra calefactora, dan temperaturas demasiado desiguales, como puede apreciarse en la Tabla 1: los valores TB6 son muy inferiores a los de TB2. Esta anomalía, a primera vista, vendría explicada por el hecho, comprobado radiográficamente, de que aquel termopar no se situaría en el límite real de la zona caliente (cinta de vacu^omium), sino unos centímetros por encima, en el extremo del casquillo guía de níquel.

El termopar de nivel de NaK (TB7) marca una temperatura débilmente dependiente de la potencia lineal, por estar bastante alejado de la zona calefactora y muy bien refrigerado.

El termopar TB8, situado en la cámara de Helio, no es alcanzado en ningún momento por el NaK dilatado, como era de esperar. La temperatura en esta cámara llega a ser superior a la registrada por los termopares TB6 y TB5, debido a la mala refrigeración de esta zona de la cápsula.

El termopar TB8 acusó mayor inercia a los cambios momentáneos de potencia que el resto de los termopares instalados en la cápsula, por estar en presencia de un gas, y no en contacto del NaK como los demás.

4.3. Variación del caudal refrigerante

Manteniendo constante la potencia lineal y la temperatura de entrada del refrigerante se ha variado el caudal desde 1,2 m³/h hasta 2,4 m³/h.

Los resultados de medida se dan en las Tablas 2 y 3; corresponden, respectivamente, a dos series, la primera a la potencia de 178,3w/cm y temperatura de entrada 50°C, y la segunda a 210w/cm y 30°C, respectivamente.

Todos los termopares han funcionado correctamente en el transcur-

so de los ensayos; se constata la misma tendencia que habíamos observado en el capítulo 4.2, respecto al valor de las temperaturas.

4.4. Variación de la temperatura del refrigerante

Se ha querido ver la influencia en el comportamiento térmico de la temperatura del refrigerante, variando la temperatura de entrada de agua de 20°C a 60°C y fijando el caudal a 2.4m³/h para las potencias lineales de 178,3 w/cm y 210 w/cm. Los resultados de estas dos series de medidas se dan en las Tablas 4 y 5.

Al igual que en ensayos anteriores, todos los termopares han funcionado con entera normalidad y se han observado las mismas peculiaridades.

5.- INTERPRETACION DE RESULTADOS EXPERIMENTALES MEDIANTE EL CODIGO TECAP

5.1. Breve descripción del código

El programa de cálculo TECAP, desarrollado para el diseño de las cápsulas del experimento IVO-FR2-Vg7, calcula, en primer término, el perfil radial de temperaturas en el interior de una cápsula cilíndrica de longitud infinita compuesta de distintos medios materiales dispuestos concéntricamente, con generación central de calor (varilla combustible o barra calefactora) y con un medio líquido (eutéctico de sodio-potasio) como medio transmisor del calor. El calor generado es evacuado a un canal, -en cuyo centro se sitúa la cápsula- por el que discurre el líquido refrigerante - - (H₂O ó D₂O).

Cada uno de los medios materiales (tubos de acero, zircaloy y espacios de NaK) se subdivide en anillos de igual anchura, en los que se considera constantes las propiedades térmicas, conductividad y dilatación. El cálculo de temperaturas se efectúa del exterior hacia el interior (iterando en cada uno de los anillos), - - partiendo de la masa de líquido refrigerante hasta llegar a la superficie de la zona calefactora en el centro del dispositivo.

Alguno o algunos de los medios materiales entre tubos puede ser un gas (Helio, etc) con la finalidad de conseguir grandes gradientes térmicos con poca potencia lineal. Un ejemplo de este tipo de cápsulas son las versiones 2 y 3 del experimento IVO-FR2-Vg7.

El código calcula deformaciones debidas a la dilatación térmica de los medios materiales; en el caso del NaK, los aumentos de volumen se transmiten libremente en sentido axial, al existir espacio suficiente en la cápsula.

Los saltos de temperatura en los anillos se calculan aplicando - las expresiones bien conocidas de la transmisión del calor en tu - bos muy delgados. Para la caída térmica entre la superficie exte - rior de la cápsula y la masa refrigerante se ha empleado la co - rrelación de Dittus-Boelter con corrección de Sieder-Tate. Estos modelos se han descrito en las referencias /2/ y /5/.

El programa TECAP determina junto con el perfil de temperaturas, el estado de tensiones en los tubos y la eventual convección na - tural del NaK en el interior de la cápsula.

El código ha sido implementado en el computador UNIVAC-1110 de - la J.E.N., ocupando 9K de memoria central y empleando tiempos de cálculo de varios minutos.

Se han tabulado, en función de la temperatura, las propiedades fí - sicas de los materiales siguientes:

Respecto al líquido transmisor (NaK) y refrigerante (H_2O , D_2O).

- densidad
- capacidad calorífica
- viscosidad dinámica
- conductividad térmica
- coeficiente de dilatación térmica

Respecto a los tubos metálicos (Acero Inoxidable y Zircaloy)

- conductividad térmica
- módulos de elasticidad y Poisson

Respecto a los gases (He ó Ar equivalente)

- conductividad térmica

Los datos de entrada precisan definir la geometría en frío (20°C) y las condiciones de funcionamiento: temperatura del refrigeran - te; potencia lineal de la barra calefactora; velocidad o caudal del refrigerante; identificación del tipo de medio material y -- sus radios respectivos; y eventualmente, el porcentaje de He del "gap" entre tubos.

El programa tiene gran flexibilidad para estudiar paramétricamen - te las variaciones de potencia lineal, caudal o temperatura de - refrigerante.

5.2. Comparación de las temperaturas medidas y calculadas

El código TECAP ha sido empleado para calcular las temperaturas de la cápsula en función de la potencia lineal, del caudal y de la temperatura del refrigerante, reproduciendo cada una de las -

medidas de las series de ensayos realizadas, de acuerdo con las Tablas de 1 a 5. Los resultados obtenidos se representan gráficamente en las Figs. de 9 a 13, a la vez que se comparan con -- los valores registrados por los termopares.

Para mayor rigor comparativo, los valores calculados representados son los existentes en el interior del NaK a 0,5 mm de distancia de la superficie metálica, en la posición teórica del -- punto de medida de los termopares (de 1 mm de diámetro). Con -- respecto al caso de los termopares TB3, TB4 y TB5, situados en -- la misma sección, se ha tomado el valor medio.

La comparación se ha circunscrito a la sección media de la zona caliente por ser la sección de máxima homogeneidad de la fuente calorífica al estar suficientemente alejada de los bordes. La -- sección media fue instrumentada con esta finalidad.

La variación con la potencia lineal de la barra calefactora del nivel de temperaturas en la cápsula es prácticamente lineal, como puede apreciarse en la Fig. 9. El acuerdo entre las temperaturas medidas con los termopares TB3, 4 y 5 y TZy, y las calculadas es total en todo el intervalo de potencias estudiadas. La temperatura en la superficie misma del tubo de la cápsula, calculada iterativamente con el modelo de Dittus-Boelter no coincide con la medida del termopar TC soldado al tubo de cápsula -- puesto que la cabeza soldada de los hilos del termopar está alejada de la superficie (0,5 mm aproximadamente) aunque unida metálicamente por el cordón de soldadura; el TC adosado, aislado de la superficie y a 0,5 mm distante de ella, mide con bastante exactitud la temperatura de la masa de agua.

Las Figs. 10 y 11 muestran la variación con el caudal de las -- temperaturas medidas y calculadas para los dos ensayos realizados a las potencias y temperaturas refrigerantes de 178,3w/cm 50°C; y 210 w/cm 30°C, respectivamente.

Se observa un decrecimiento de la temperatura a medida que aumenta el caudal, debido, fundamentalmente, al correspondiente -- decrecimiento del salto térmico entre la masa de agua y el tubo de la cápsula. Este salto térmico llega a ser de hasta 60°C en el caso de un caudal de 1,2 m³/h y 210w/cm de potencia lineal, reduciéndose casi a la mitad al caudal de 2,4m³/h.

La concordancia entre las medidas proporcionadas por los termopares TB3, 4 y 5 y TZy, y los valores calculados con el programa TECAP son francamente satisfactorias, como en los casos anteriores.

Finalmente, las Figs. 12 y 13 representan la comparación entre medidas y cálculos respecto a los dos ensayos realizados, variando la temperatura de entrada del agua refrigerante desde 25° C hasta 60° C, aproximadamente, a caudal constante (2,4m³/h) y potencias lineales de 178,3 w/cm y 210 w/cm, respectivamente.

Se observa un aumento lineal de las temperaturas en la cápsula -- con respecto a la temperatura de entrada, y un acuerdo entre teoría y experiencia igualmente satisfactorio como en casos anteriores.

6.- CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Como se ha visto en el capítulo 5, existe un acuerdo muy satisfactorio entre las medidas de temperatura en el interior de la cápsula simulada y los valores calculados con el código TECAP.

De este acuerdo sistemático en todos los ensayos realizados. puede afirmarse que tanto el sistema de experimentación en su conjunto, como el método de cálculo (código TECAP) son igualmente válidos para el calibrado de cápsulas de irradiación del tipo IV0-FR2-Vg7.

Se desprende, consecuentemente, que los modelos de cálculo son representativos de la realidad, en particular, el salto térmico entre la masa de agua y la pared de la cápsula, que juega un papel importante en el nivel de temperaturas interiores (vainas y tubo intermedio) sobre todo a bajos caudales.

Por su parte, el hecho de mantenerse la diferencia entre la temperatura de vaina (TB3, 4 y 5) y la del tubo intermedio (TZy) muestra la precisión del modelo de caída térmica en el NaK y tubos metálicos y confirma indirectamente la fiabilidad de los valores de conductividad térmica del autéctico de NaK empleado.

Con esta experiencia "en frío" se ha cubierto la primera etapa de los ensayos de simulación programados en la J.E.N., como apoyo y contribución al experimento IV0-FR2-Vg7.

Posteriores investigaciones podrán extender la simulación hasta potencias de 450 w/cm, típicas de las varillas de dicho experimento y de los reactores rápidos. Estos ensayos necesitarían un diseño específico de barra calefactora sobre la base de las características del circuito de agua de 15 Kw, para lo que habría que acortar la zona caliente de la misma a unos 340 mm de longitud, en lugar de los 600 de la barra usada.

La tecnología adquirida a lo largo de esta experiencia en diseño, fabricación, montaje, llenado de NaK, soldaduras especiales, fabricación y montaje de termopares, técnicas de recogida de datos, etc., puede ser aplicable al terreno de los reactores térmicos o, eventualmente, a campos como la irradiación de materiales cerámicos fértiles para reactores de fusión.

BIBLIOGRAFIA

- /1/ J.L. Otero de la Gándara, K. Kummerer, E. Bojarsky, H. Elbel, J. López Jiménez: Status of IVO-FR2-Vg7 Experiment for Irradiation of Fast Reactor Fuel Rods, J.E.N. 454, Madrid 1979.
- /2/ J. López Jiménez, H.E. Haefner: Diseño de cápsulas de sodio-potasio de pared única para la irradiación de barras combustibles de reactores rápidos (Programa IVO-FR2-Vg7), J.E.N. -- 460, Madrid 1979.
- /3/ M. de la Torre Cabezas, I. Melches Serrano: Propuesta para -- llenado con NaK de una cápsula tipo IVO-FR2-Vg7, Div. de Ingeniería Nuclear, Ref. Nº 27/81, Mayo 1981.
- /4/ M. Montes: Determinación de coeficientes de transmisión de calor por convección a partir de perfiles de temperatura en conducciones anulares excéntricas. Tesis Doctoral 70/83. Ed. Universidad Complutense de Madrid.
- /5/ J. López Jiménez, H.E. Haefner: Dispositivos de irradiación - para el desarrollo de combustibles de reactores rápidos. Programa IVO, KfK-JEN, Revista Energía Nuclear, Tomo 27, Nº 144, Julio/Agosto 1983.

Tabla N° 1: Medidas de los termopares en función de la potencia de la barra calefactora.

Potencia lineal /w/cm/	Caudal /m ³ /h/	T E M P E R A T U R A S /°C/											Seguridad TB8
		Entrada TE	Salida TS	Tubo Cápsula TC	Zircaloy TZY	Inferior TB1	Límite Zona Caliente		Sección Media Zona Caliente			Nivel NaK TB7	
							Inferior TB2	Superior TB6	O ^o TB3	120 ^o TB4	240 ^o TB5		
21.3	2.4	29.9	30.4	30.5X	40.6	30.1	50.1	48.4	60.2	60.2	60.1	44.9	38.6
48.5	2.4	31.0	32.5	32.0X	54.3	31.4	75.1	66.5	96.0	95.7	95.9	60.2	49.8
65.0	2.4	31.0	32.4	35.5+	61.6	31.2	85.0	80.0	117.0	116.8	116.8	71.9	61.0
86.7	2.4	30.3	32.6	31.5X	70.6	30.7	108.5	76.5	144.5	143.3	144.5	69.9	59.9
86.7	2.4	31.3	33.4	37.1+	71.6	31.7	109.3	85.0	144.5	143.0	144.0	77.5	68.1
97.8	2.4	30.3	32.4	31.5X	76.2	30.6	117.3	84.9	157.8	155.3	157.5	76.8	65.0
107.4	2.4	30.5	33.3	39.5+	84.3	31.1	128.5	87.7	172.0	170.0	171.7	81.3	74.3
109.5	2.4	30.7	33.0	31.5X	81.4	30.9	127.3	85.0	171.3	169.3	169.8	78.1	68.4
121.9	2.4	30.8	33.3	32.5X	86.6	31.1	137.5	86.4	185.3	183.0	184.0	79.4	71.0
133.3	2.4	30.4	33.8	30.5X	91.7	30.7	148.0	79.1	199.0	199.0	200.8	75.0	71.5
135.0	2.4	30.5	33.6	41.1+	93.4	31.3	149.3	88.4	201.0	198.3	201.3	84.0	82.0
148.8	2.4	30.3	33.4	31.0X	97.0	30.5	157.8	85.6	213.0	210.8	212.5	81.1	77.3
161.3	2.4	30.9	34.9	33.5X	104.5	31.3	170.5	80.8	230.3	230.3	232.0	78.3	77.8
163.2	2.4	31.1	34.8	42.7+	106.0	31.6	171.3	86.7	231.5	228.8	231.5	84.3	89.1
168.0	2.4	29.9	33.6	32.5X	106.8	30.2	173.8	86.8	235.8	232.8	235.5	83.2	82.3
178.3	2.4	31.0	35.0	31.5X	111.3	31.1	182.5	81.0	248.8	250.4	252.8	80.0	83.7
192.0	2.4	30.3	34.6	42.7+	118.8	30.9	194.0	84.8	265.6	263.2	266.4	85.9	97.0
192.0	2.4	30.8	35.2	30.8X	117.5	31.1	193.5	82.0	265.6	264.0	268.8	81.0	85.0
208.3	2.4	31.1	35.6	43.9+	125.0	31.7	206.0	85.6	282.0	279.6	281.2	87.9	102.5
213.8	2.4	31.9	36.2	35.5X	128.5	32.1	209.0	85.0	289.6	283.2	288.8	83.9	93.0

(X) Termopar adosado; (+) Termopar soldado

Tabla 3: Medidas de termopares en función del caudal (\dot{V} = 178.3 w/cm; T. refrigerante = 50°C)

Potencia lineal (w/cm)	Caudal (m ³ /h)	T E R M O P A R A T O R A (°C)											Nivel NaK	Seguridad
		Entrada TE	Salida TS	Pared E	Circaloy TZy	Interior Cápsula T01	Límite zona caliente		Sección media zona caliente					
							Inferior T02	Superior T06	OR T03	120° T04	240° T05			
178.3	1.3	51.2	58.5	56.5	144.5	51.4	205.5	92.6	278.8	274.8	279.2	94.3	100.5	
178.3	1.6	50.2	56.2	53.5	134.0	50.7	198.8	89.9	267.2	263.6	265.2	91.5	97.7	
178.3	1.8	49.8	54.9	51.5	130.0	50.2	196.5	89.0	262.8	259.2	262.4	90.4	96.3	
178.3	2.0	49.9	54.6	52.5	129.5	50.1	197.5	88.3	264.4	260.8	264.0	90.6	98.0	
178.3	2.1	49.3	54.0	52.0	129.0	49.7	197.5	88.4	263.2	260.0	263.2	90.0	95.8	
178.3	2.2	49.3	54.2	51.5	129.0	49.7	197.5	87.8	263.2	260.4	263.2	89.5	96.1	
178.3	2.3	50.0	54.4	53.5	128.5	50.5	198.0	88.3	263.2	259.2	263.6	90.2	96.6	
178.3	2.4	49.3	53.3	53.5	129.0	51.4	199.5	88.3	264.4	260.8	264.8	90.0	96.2	
178.3	2.4	49.8	54.5	53.5	126.8	50.6	198.3	87.9	262.0	258.4	262.8	89.5	95.4	
178.3	2.3	50.3	54.5	52.5	126.0	50.9	197.8	88.4	260.0	257.2	260.8	89.8	95.1	
178.3	2.4	49.3	53.4	51.0	124.8	50.0	196.8	87.7	258.4	255.6	258.4	89.0	94.3	
178.3	2.4	49.8	53.5	52.0	124.0	50.1	195.3	87.7	259.4	256.4	258.4	89.4	96.6	

* Termopar adosado

Tabla 3: Medidas de termopares en función del caudal ($\chi=210\text{w/cm}$, temperatura refrigerante = 30°C).

Potencia Lineal (w/cm)	Caudal (m^3/h)	T E M P E R A T U R A ($^{\circ}\text{C}$)											
		Entrada	Salida	Pared (+)	Circaloy	Inferior Cápsula	Límite zona caliente		NaK			Nivel NaK	Seguridad
							Inferior	Superior	0	120 $^{\circ}$	240 $^{\circ}$		
210.0	1.2	30.0	38.5	59.6	152.3	30.4	233.5	88.2	304.8	300.8	306.4	91.1	107.3
208.3	1.4	30.0	37.6	57.6	147.8	30.5	233.0	86.8	300.8	298.4	304.0	89.9	106.0
212.1	1.6	30.0	36.8	54.5	141.5	30.5	232.0	85.8	297.6	295.2	298.4	88.9	105.8
208.3	1.8	29.9	36.0	52.5	136.0	30.5	208.3	87.2	292.0	290.4	293.6	89.5	105.3
210.0	1.9	30.2	35.8	50.8	133.3	30.8	209.3	86.6	292.0	288.8	292.8	89.0	105.7
209.2	2.1	30.0	35.0	48.4	129.0	30.4	206.0	86.1	286.4	281.6	287.2	88.1	104.5
208.3	2.3	29.8	34.4	47.0	126.3	30.3	204.0	84.9	282.4	284.0	281.6	87.0	103.0
208.3	2.4	30.8	35.3	45.8	129.5	31.1	208.0	85.8	285.6	282.4	286.4	88.1	103.0

(+) Termopar soldado

Tabla 4: Medidas de termopar en función de la temperatura del agua refrigerante ($\lambda=178.3$ w/cm)

Potencia Lineal (w/cm)	Caudal (m ³ /h)	T E M P E R A T U R A (°C)											
		Entrada	Salida	Pared (°)	Circaloy	Inferior Cápsula	Límite zona caliente		NaK			Nivel NaK	Seguridad
							Inferior	Superior	0	120°	240°		
178.3	2.4	25.8	29.5	28.0	106.0	25.8	176.5	78.7	241.5	239.8	242.3	76.4	78.3
178.3	2.4	31.0	35.0	31.5	111.3	31.1	182.5	81.0	248.8	250.4	252.8	80.0	83.7
178.3	2.4	38.4	42.6	39.5	114.8	38.9	186.3	83.5	250.0	247.6	249.6	83.2	87.1
178.3	2.4	43.2	47.3	49.5	118.5	43.7	190.0	86.0	252.8	250.0	253.2	86.2	90.6
178.3	2.4	50.5	54.5	51.0	125.0	50.8	198.0	86.3	260.0	258.0	258.0	88.8	96.0
178.3	2.3	55.1	59.0	55.0	128.3	55.2	200.0	87.8	260.8	261.6	262.0	90.8	99.5
178.3	2.3	61.0	65.2	62.0	134.5	61.1	207.0	91.0	266.5	264.8	269.2	94.6	103.3

(°) Termopar adosado

Tabla 5: Medidas de termopares en función de la temperatura del agua refrigerante ($\chi=210\text{w/cm}$)

Potencia Lineal (w/cm)	Caudal m^2/h	T E M P E R A T U R A ($^{\circ}\text{C}$)											
		Entrada	Salida	Pared (+)	Circaloy	Inferior Cápsula	Límite zona caliente		NaK			Nivel NaK	Seguridad
							Inferior	Superior	0	120 ^o	240 ^o		
209.2	2.4	19.5	24.2	49.5	120.0	20.0	198.0	83.5	274.0	271.2	274.8	83.1	91.3
208.3	2.4	25.7	30.3	53.8	124.8	26.3	204.3	84.2	280.0	276.4	280.8	85.2	96.1
212.9	2.4	30.4	35.3	57.2	128.3	31.0	209.8	86.0	285.6	282.0	286.0	87.9	102.0
212.1	2.4	36.1	40.7	60.9	130.8	36.5	212.3	87.0	287.2	283.2	288.0	89.7	105.0
209.2	2.3	40.3	44.9	63.7	133.0	40.8	214.0	86.8	288.4	283.6	289.2	91.0	108.0
212.1	2.3	45.4	49.9	67.3	137.8	45.7	219.5	87.2	294.8	290.8	295.2	92.3	111.0
208.3	2.3	50.9	55.1	71.6	140.0	51.2	211.0	88.4	294.4	290.4	294.0	94.3	115.9

(+) Termopar soldado

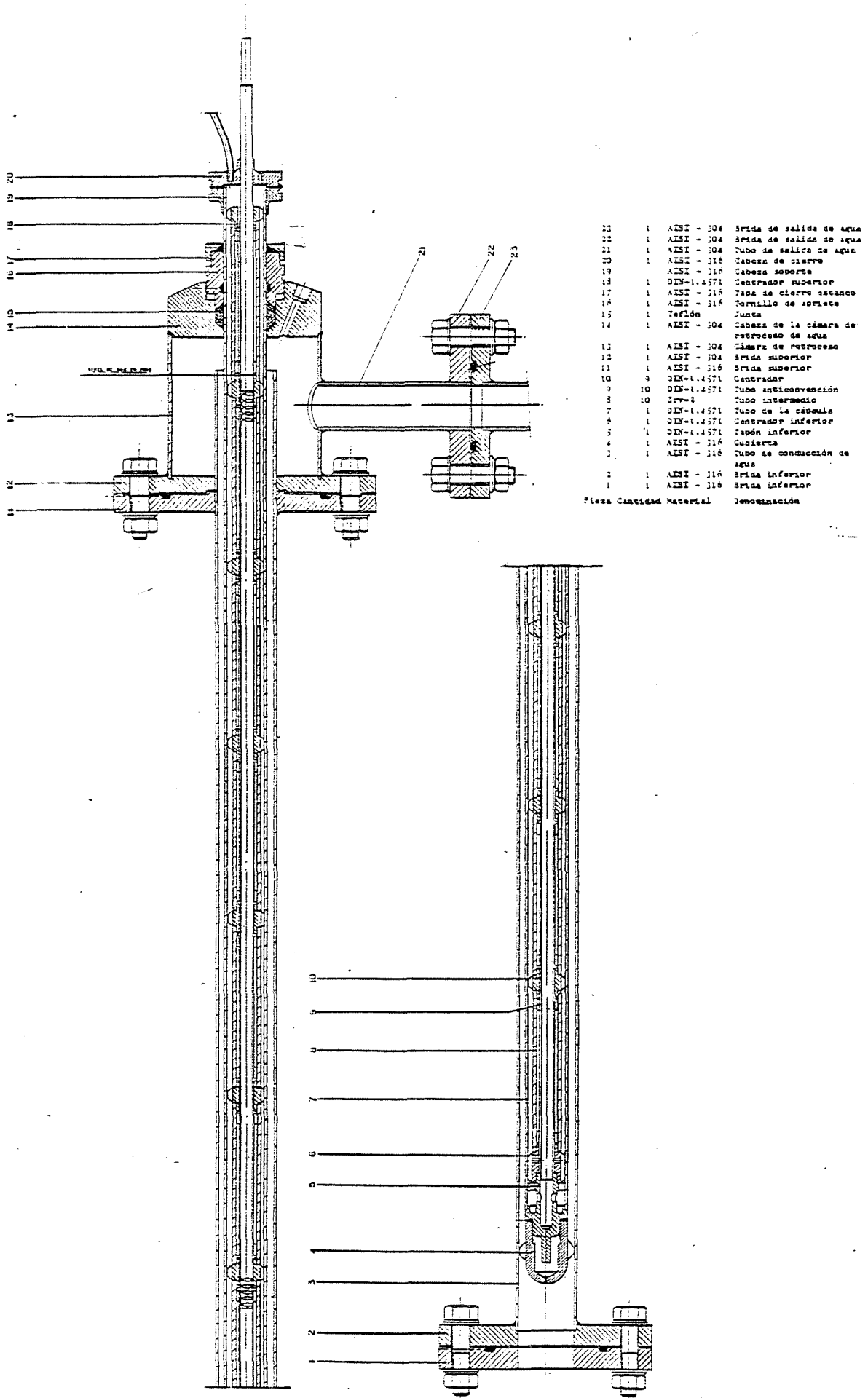


Fig. 1: Canal de ensayos del circuito de agua con la cápsula de irradiación.

CAPSULA SIMULADORA
(IVO - FR2 - Vg.7 - VERSION 1)

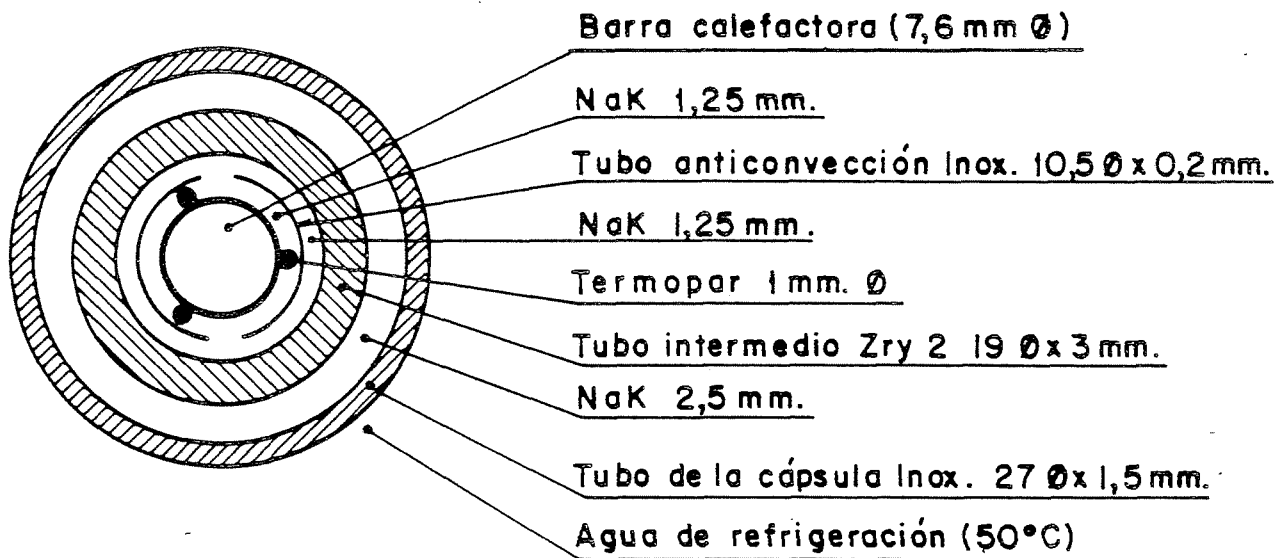


Fig. 2. Sección Transversal de la Cápsula Simuladora.

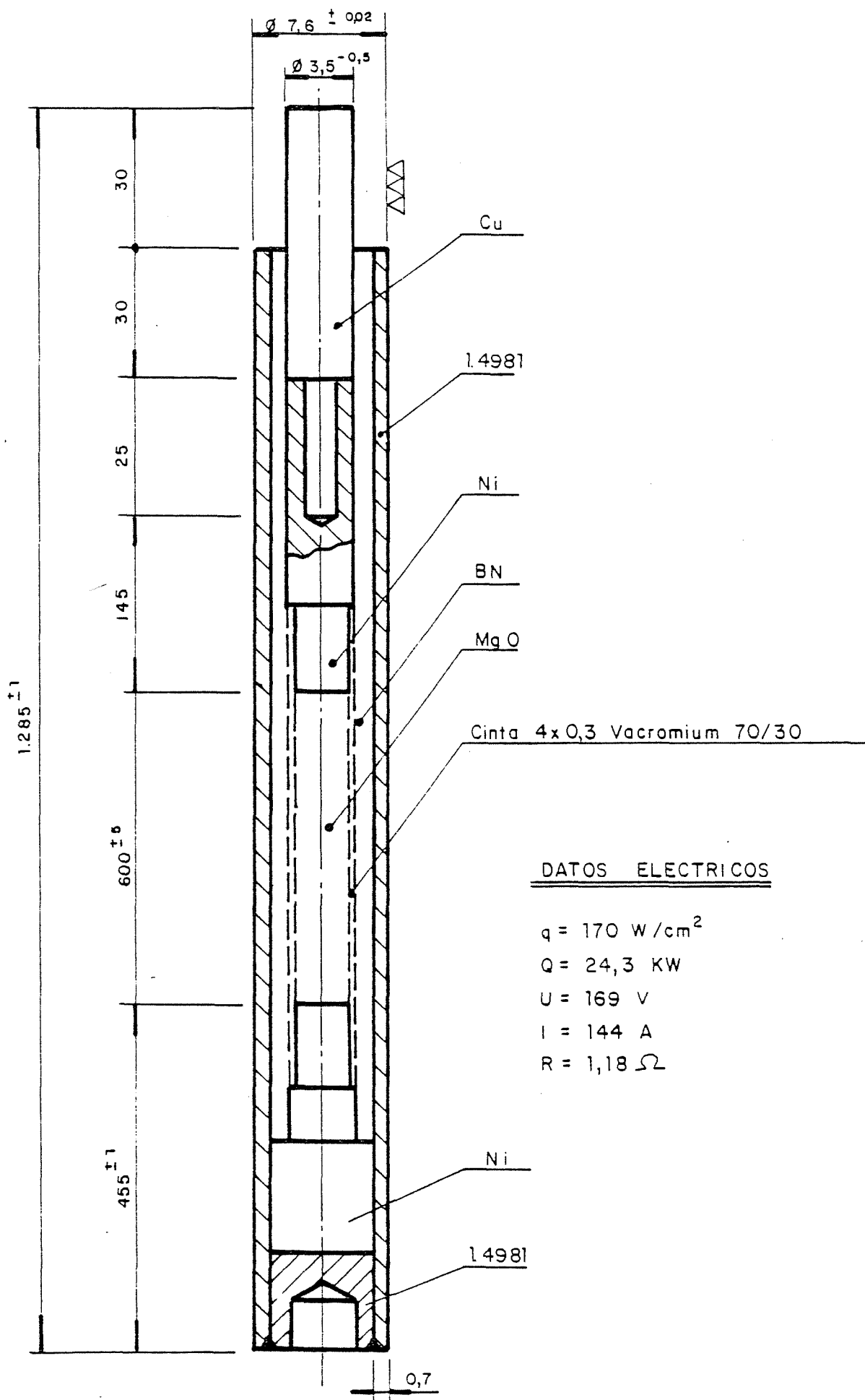


FIG. 3. — ESQUEMA DE LA BARRA CALEFACTORA.

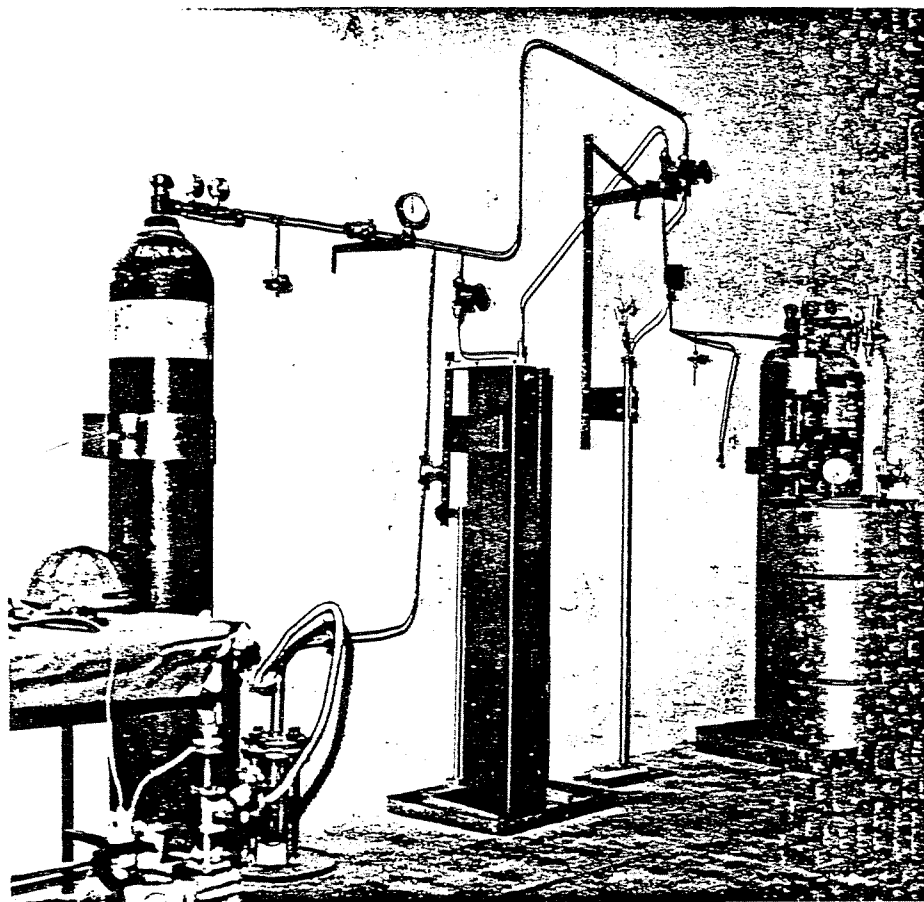


Fig. 4: Vista del circuito de llenado de NaK.

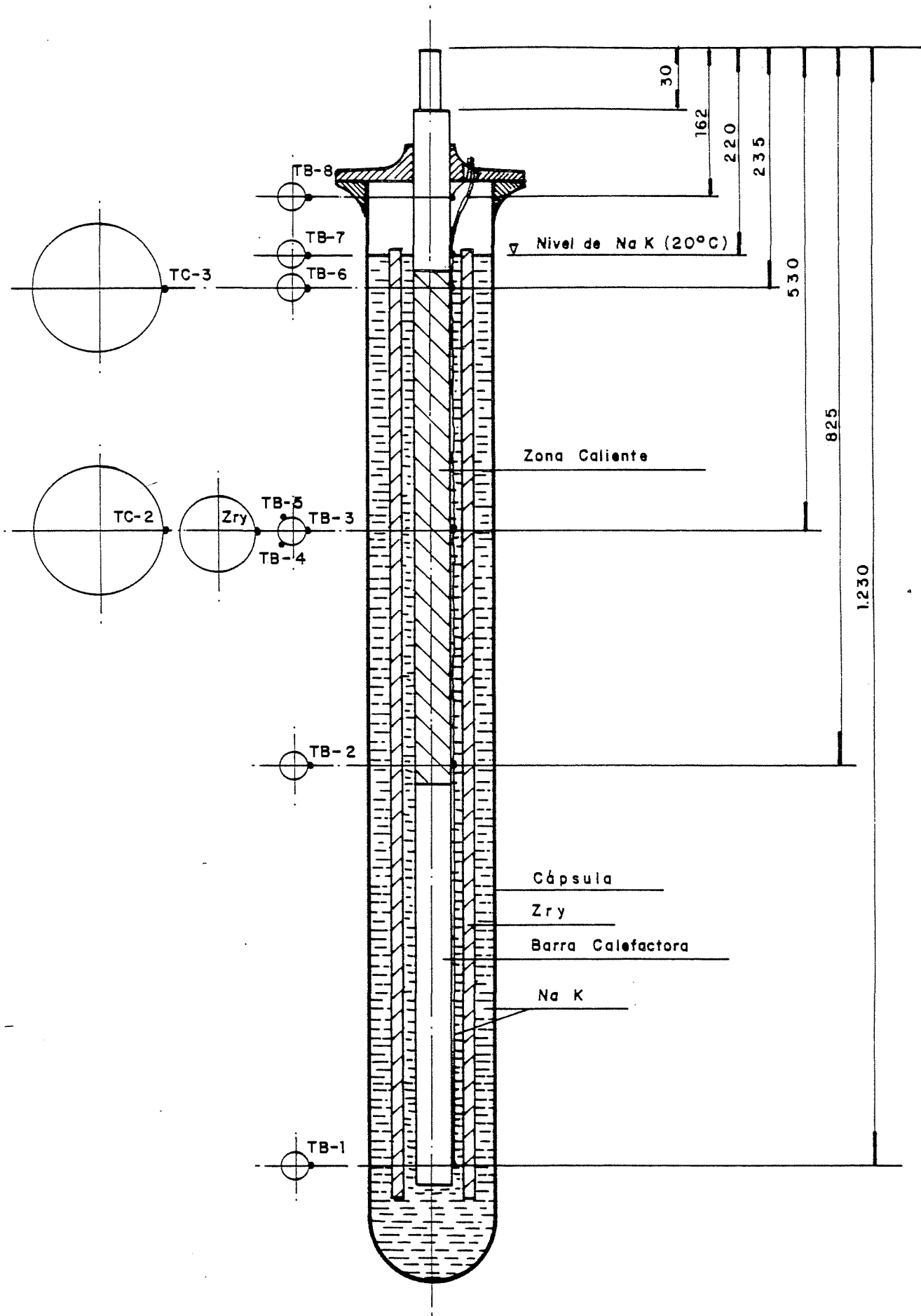


Fig. 5. Distribución de termopares en la cápsula.

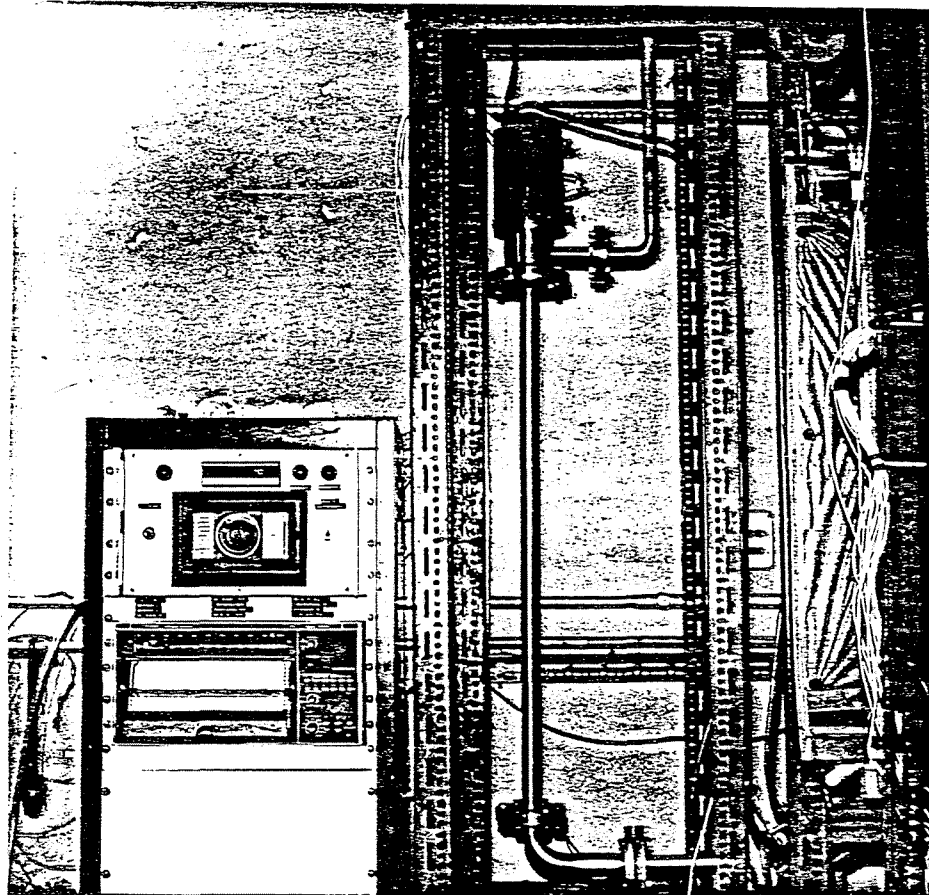


Fig. 6: Vista del circuito de agua con canal de ensayos desnudo.

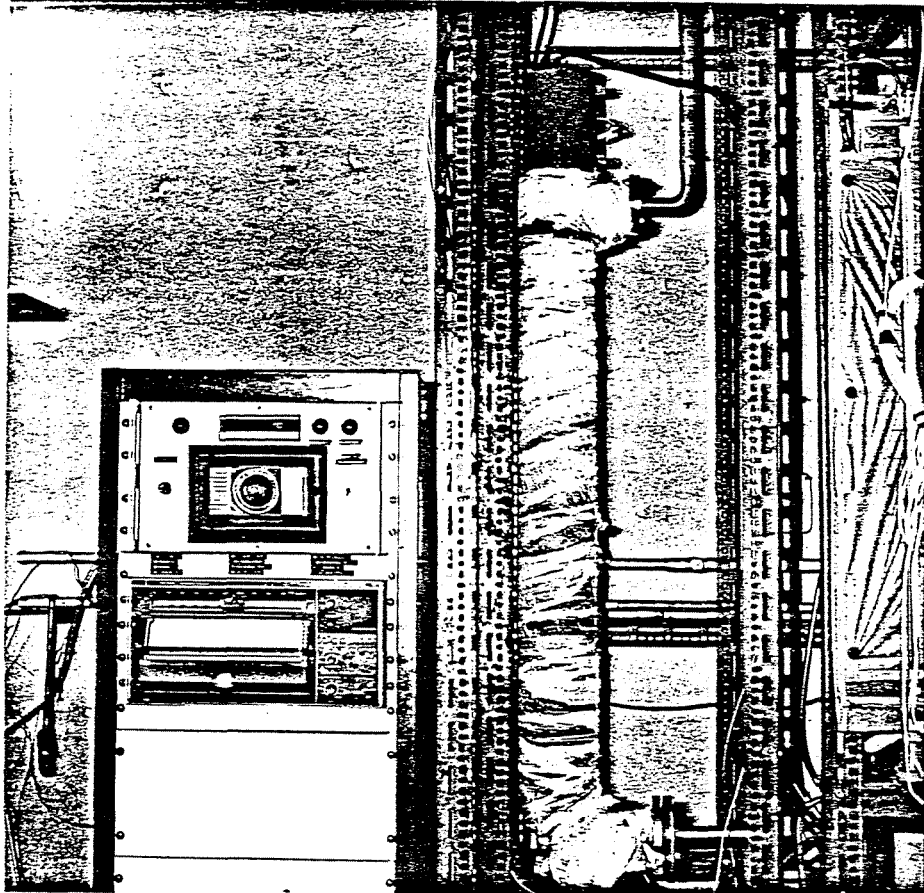


Fig. 7: Vista del circuito de agua con canal de ensayos protegido.

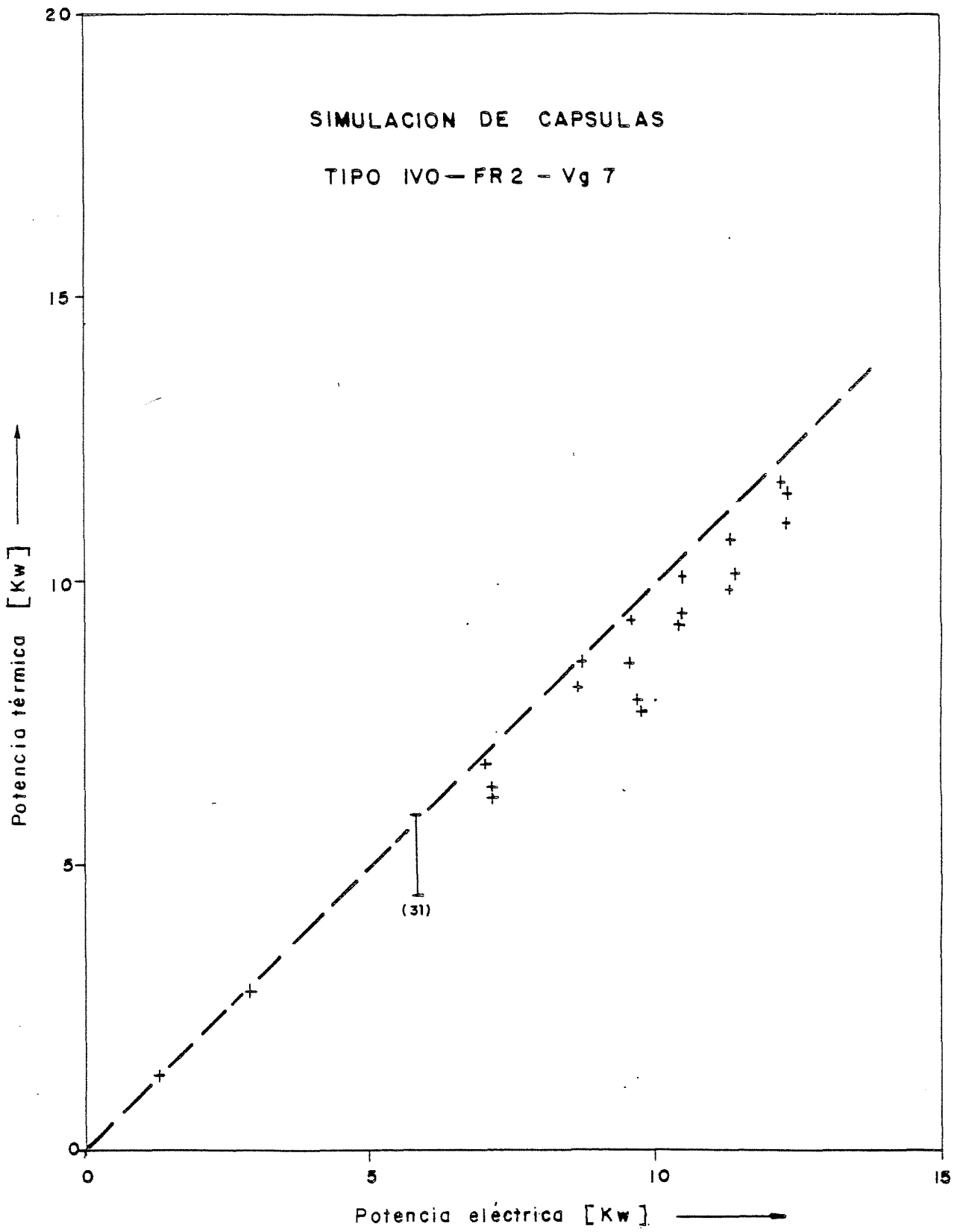


Fig. 8. Potencia térmica y eléctrica de la barra calefactora.

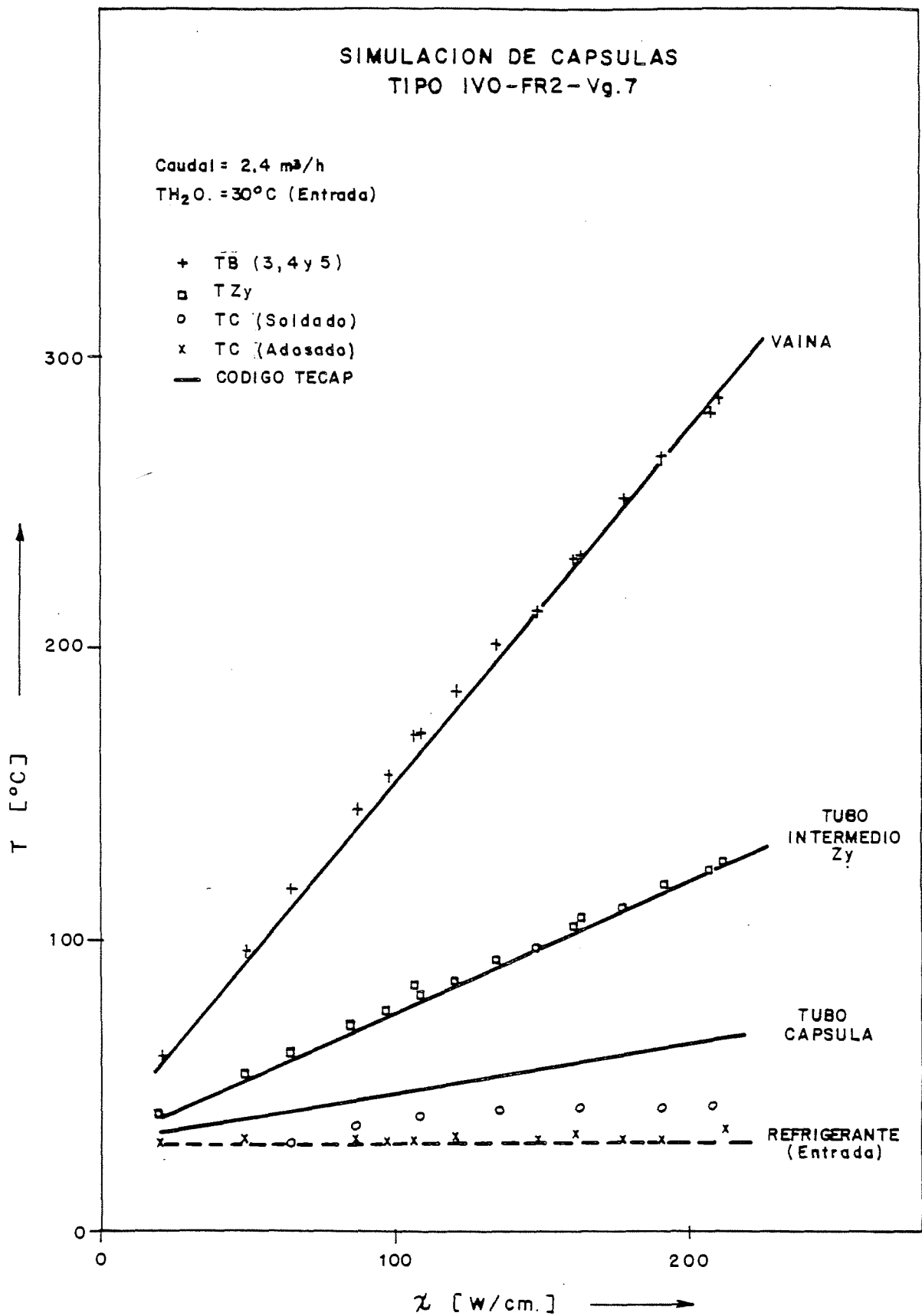


Fig. 9. Temperaturas de cápsula en función de la potencia calefactora.

SIMULACION DE CAPSULAS
TIPO IVO - FR2 - Vg. 7

- + TB (3, 4 y 5)
- TZy
- TC (Adosado)
- CODIGO TECAP

$\lambda = 210 \text{ w/cm.}$
 $T_{H_2O} = 30 \text{ }^\circ\text{C (Entrada)}$

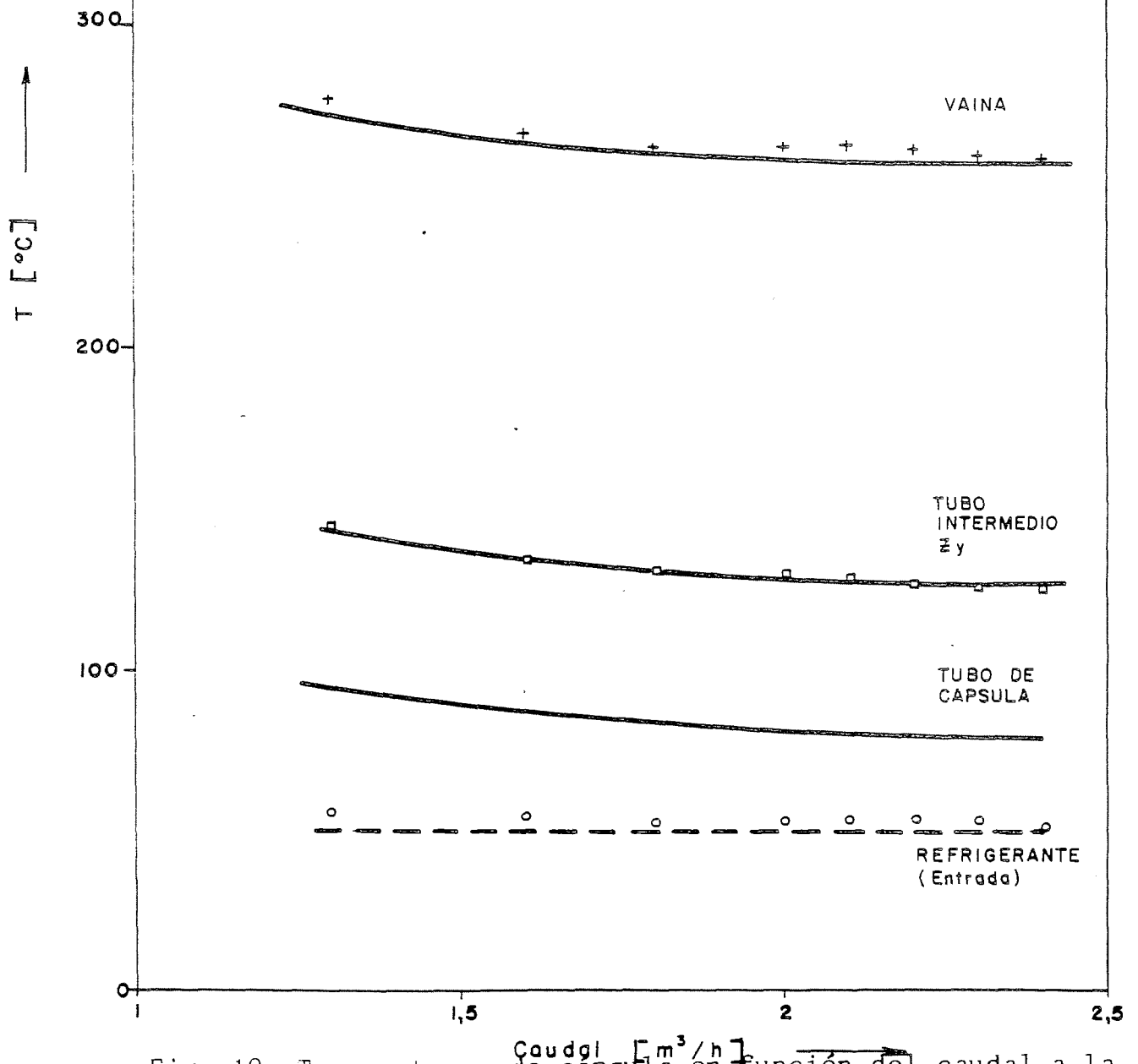


Fig. 10. Temperaturas de capsula en función del caudal a la potencia de 178.3 w/cm. y temperatura refrigerante

SIMULACION DE CAPSULAS
TIPO IVO - FR2 - Vg. 7

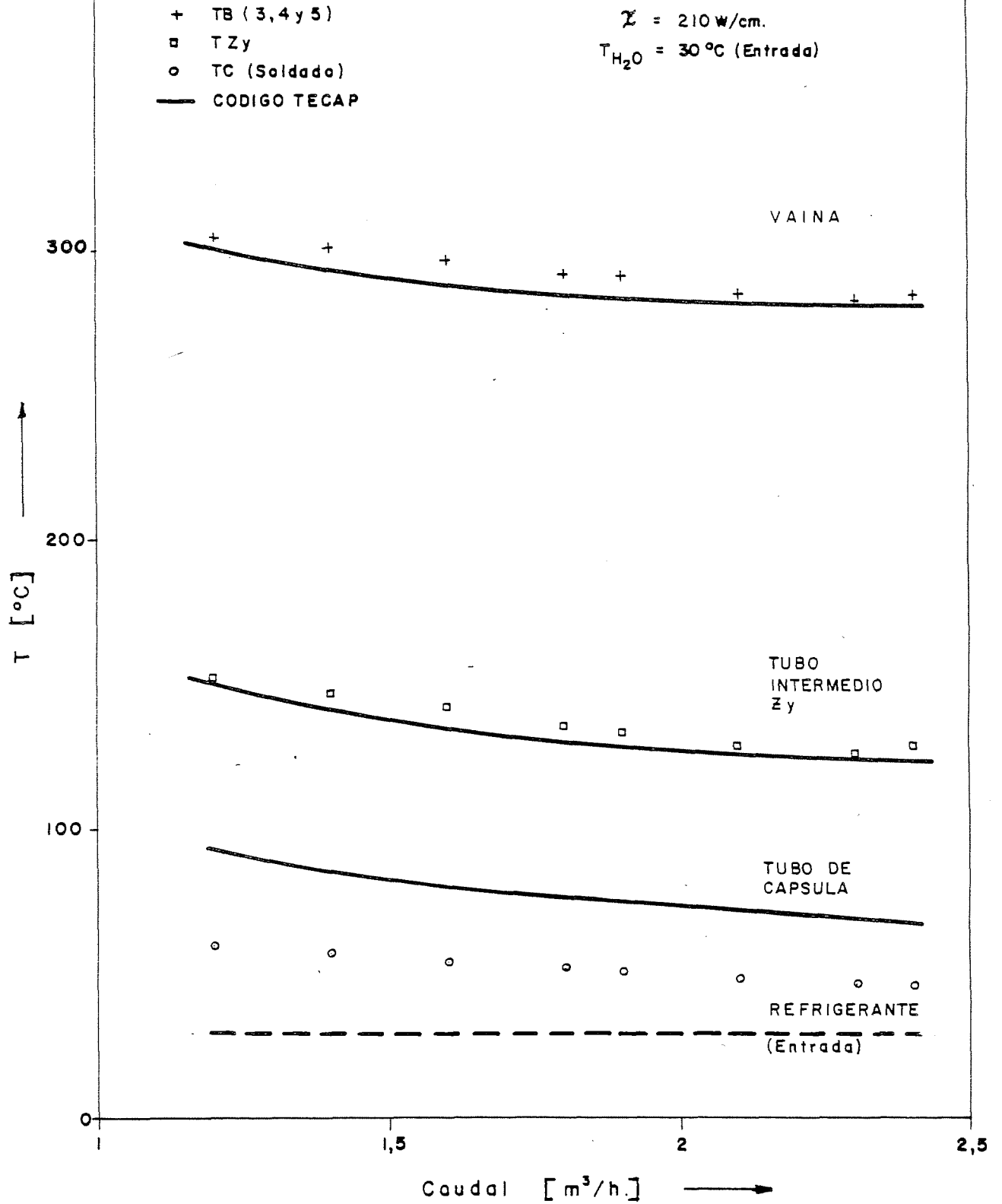


Fig. 11. Temperaturas de cápsula en función del caudal a la potencia de 210 w/cm. y temperatura refrigerante de 30° C.

**SIMULACION DE CAPSULAS
TIPO IVO - FR2 - Vg. 7**

$\chi = 178,3 \text{ w/cm.}$

Caudal = $2,4 \text{ m}^3/\text{h.}$

- + TB (3,4y5)
- TZ:
- TC (Añosado)
- CODIGO TECAP

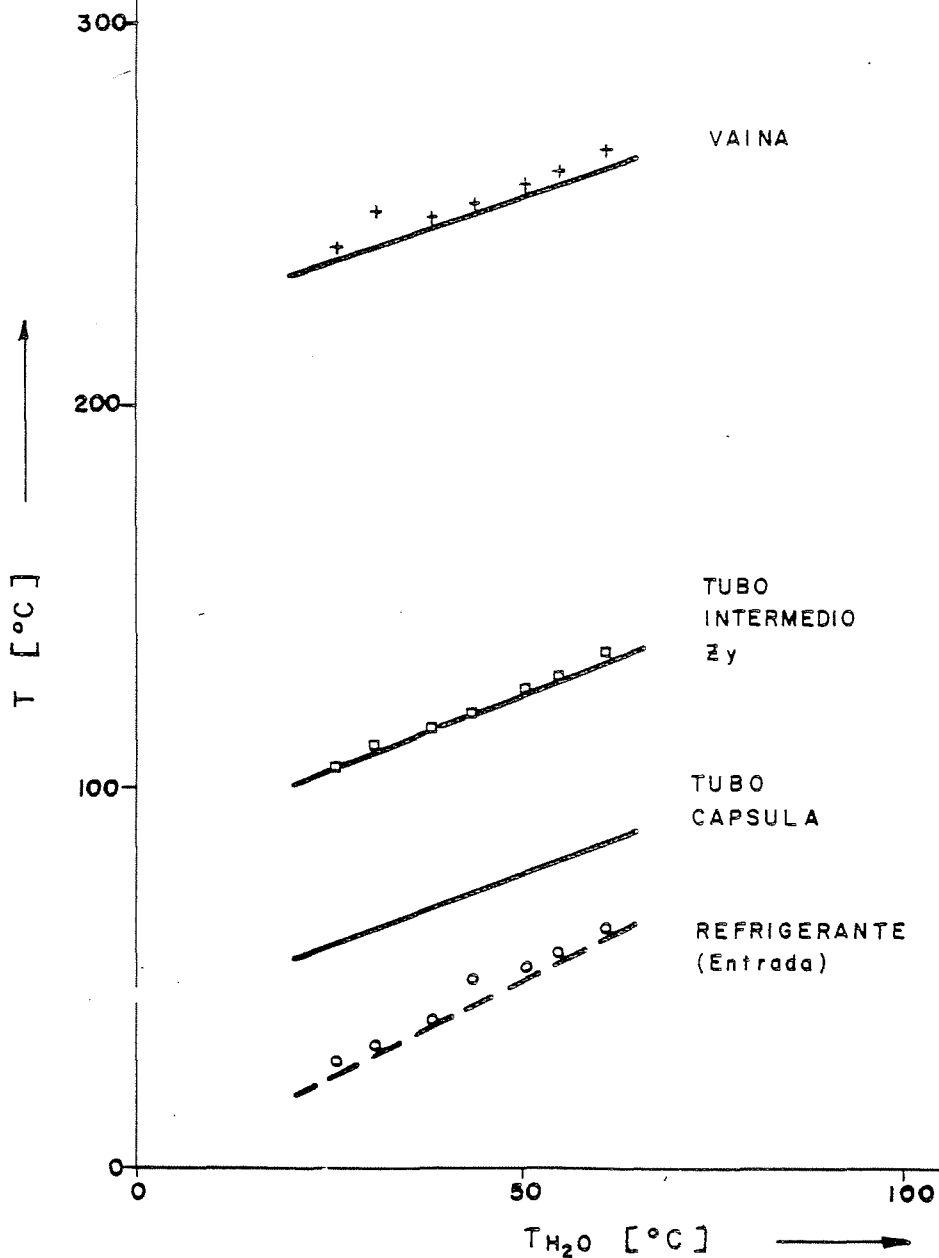


Fig. 12. Temperaturas de cápsula en función de la temperatura de entrada del refrigerante ($\chi=173.3\text{w/cm}$, caudal = $2.4 \text{ m}^3/\text{h}$).

SIMULACION DE CAPSULAS

TIPO IVO - FR 2 - Vg 7

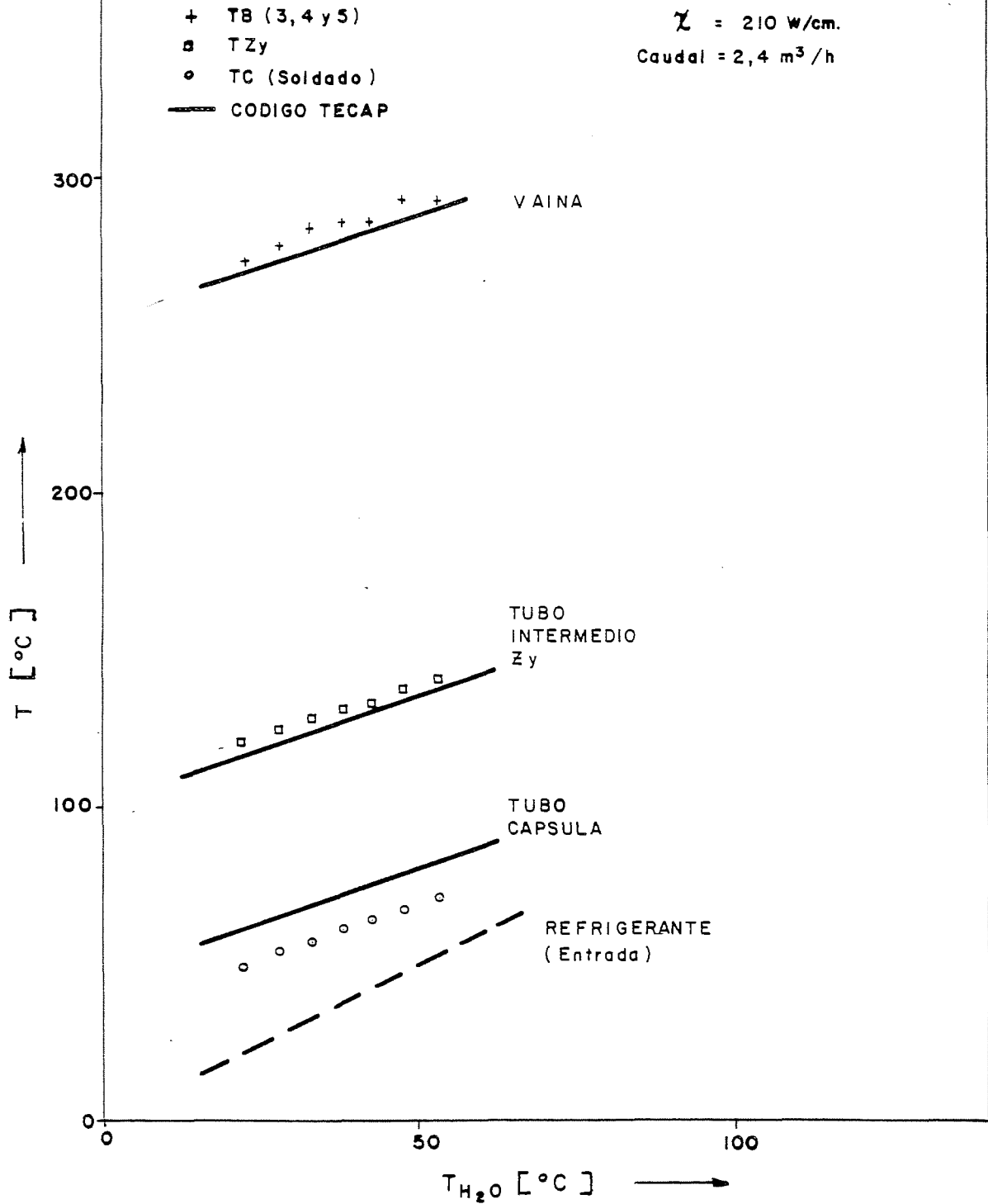


Fig. 13. Temperaturas de cápsula en función de la temperatura de entrada del refrigerante ($\chi=210\text{w/cm}$; caudal = $2.4 \text{ m}^3/\text{h}$).

J.E.N. 557

Junta de Energía Nuclear. División de Elementos Combustibles. Madrid.

"Simulación en circuitos de agua de cápsulas de irradiación de barras combustibles".

LOPEZ, J.; MONTES, M.; SERRANO, J.; HAEFNER, H.E.(1984)32 pp. 13 figs. 5 refs.

La simulación en circuitos de agua de cápsulas de irradiación dotadas de barras calefactadas eléctricamente se ha realizado en el marco del programa de irradiación de barras combustibles para reactores rápidos (IVO-FR2-Vg7) emprendido por el KfK y la JEN. La cápsula típica, de pared única y sodio-potasio (22% Na; 78% K), ha sido instrumentada con 10 termopares con la finalidad de obtener los perfiles radiales de temperatura en la cápsula, en función de la potencia eléctrica de la barra (máx. 215 W/cm), caudal (máx. 2,4 m³/h) y temperatura refrigerante (máx. 600 C). Los valores experimentales fueron comparados con los obtenidos mediante el código TECAP.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: E11.00; E37.00. Irradiation Capsules. Fuel Rods. Simulators. Fast Reactors. Comparative Evaluations. T Codes. Temperature Control. Fuel Pins.

J.E.N. 557

Junta de Energía Nuclear. División de Elementos Combustibles. Madrid.

"Simulación en circuitos de agua de cápsulas de irradiación de barras combustibles".

LOPEZ, J.; MONTES, M.; SERRANO, J.; HAEFNER, H.E.(1984)32 pp. 13 figs. 5 refs.

La simulación en circuitos de agua de cápsulas de irradiación dotadas de barras calefactadas eléctricamente se ha realizado en el marco del programa de irradiación de barras combustibles para reactores rápidos (IVO-FR2-Vg7) emprendido por el KfK y la JEN. La cápsula típica, de pared única y sodio-potasio (22% Na; 78% K), ha sido instrumentada con 10 termopares con la finalidad de obtener los perfiles radiales de temperatura en la cápsula, en función de la potencia eléctrica de la barra (máx. 215 W/cm), caudal (máx. 2,4 m³/h) y temperatura refrigerante (máx. 600 C). Los valores experimentales fueron comparados con los obtenidos mediante el código TECAP.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: E11.00; E37.00. Irradiation Capsules. Fuel Rods. Simulators. Fast Reactors. Comparative Evaluations. T Codes. Temperature Control. Fuel Pins.

J.E.N. 557

Junta de Energía Nuclear. División de Elementos Combustibles. Madrid.

"Simulación en circuitos de agua de cápsulas de irradiación de barras combustibles".

LOPEZ, J.; MONTES, M.; SERRANO, J.; HAEFNER, H.E.(1984)32 pp. 13 figs. 5 refs.

La simulación en circuitos de agua de cápsulas de irradiación dotadas de barras calefactadas eléctricamente se ha realizado en el marco del programa de irradiación de barras combustibles para reactores rápidos (IVO-FR2-Vg7) emprendido por el KfK y la JEN. La cápsula típica, de pared única y sodio-potasio (22% Na; 78% K), ha sido instrumentada con 10 termopares con la finalidad de obtener los perfiles radiales de temperatura en la cápsula, en función de la potencia eléctrica de la barra (máx. 215 W/cm), caudal (máx. 2,4 m³/h) y temperatura refrigerante (máx. 600 C). Los valores experimentales fueron comparados con los obtenidos mediante el código TECAP.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: E11.00; E37.00. Irradiation Capsules. Fuel Rods. Simulators. Fast Reactors. Comparative Evaluations. T Codes. Temperature Control. Fuel Pins.

J.E.N. 557

Junta de Energía Nuclear. División de Elementos Combustibles. Madrid.

"Simulación en circuitos de agua de cápsulas de irradiación de barras combustibles".

LOPEZ, J.; MONTES, M.; SERRANO, J.; HAEFNER, H.E.(1984)32 pp. 13 figs. 5 refs.

La simulación en circuitos de agua de cápsulas de irradiación dotadas de barras calefactadas eléctricamente se ha realizado en el marco del programa de irradiación de barras combustibles para reactores rápidos (IVO-FR2-Vg7) emprendido por el KfK y la JEN. La cápsula típica, de pared única y sodio-potasio (22% Na; 78% K), ha sido instrumentada con 10 termopares con la finalidad de obtener los perfiles radiales de temperatura en la cápsula, en función de la potencia eléctrica de la barra (máx. 215 W/cm), caudal (máx. 2,4 m³/h) y temperatura refrigerante (máx. 600 C). Los valores experimentales fueron comparados con los obtenidos mediante el código TECAP.

CLASIFICACION INIS Y DESCRIPTORES: E11.00; E37.00. Irradiation Capsules. Fuel Rods. Simulators. Fast Reactors. Comparative Evaluations. T Codes. Temperature Control. Fuel Pins.

J.E.N. 557

Junta de Energía Nuclear. División de Elementos Combustibles. Madrid.

"Simulation of fuel rod irradiation capsules in water loops by electric heater rods".

LOPEZ, J.; MONTES, M.; SERRANO, J.; HAEFNER, H.E.(1984)32 pp. 13 figs. 5 refs.

The out of pile simulation of irradiation devices was carried out by J.E.N. in the frame of the KfK-JEN joint experiment for irradiation of fast reactor fuel rods (IVO-FR2-Vg7). A typical single-wall-NaK (22% Na, 78%K) electrical heated capsule was fabricated and hydraulical tests were done. The capsule was instrumented with 10 thermocouples in order to obtain the radial temperature profile into the capsule in function of the electrical rod power (max. 215 W/cm), flow rate (max. 2,4 m³/h) and coolant temperature (max. 600 C). The experimental values are compared to the TECAP-Code results.

INIS CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS: E11.00; E37.00. Irradiation Capsules. Fuel Rods. Simulators. Fast Reactors. Comparative evaluations. T Codes. Temperature Control. Fuel Pins.

J.E.N. 557

Junta de Energía Nuclear. División de Elementos Combustibles. Madrid.

"Simulation of fuel rod irradiation capsules in water loops by electric heater rods".

LOPEZ, J.; MONTES, M.; SERRANO, J.; HAEFNER, H.E.(1984)32 pp. 13 figs. 5 refs.

The out of pile simulation of irradiation devices was carried out by J.E.N. in the frame of the KfK-JEN joint experiment for irradiation of fast reactor fuel rods (IVO-FR2-Vg7). A typical single-wall-NaK (22% Na, 78%K) electrical heated capsule was fabricated and hydraulical tests were done. The capsule was instrumented with 10 thermocouples in order to obtain the radial temperature profile into the capsule in function of the electrical rod power (max. 215 W/cm), flow rate (max. 2,4 m³/h) and coolant temperature (max. 600 C). The experimental values are compared to the TECAP-Code results.

INIS CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS: E11.00; E37.00. Irradiation Capsules. Fuel Rods. Simulators. Fast Reactors. Comparative evaluations. T Codes. Temperature Control. Fuel Pins.

J.E.N. 557

Junta de Energía Nuclear. División de Elementos Combustibles. Madrid.

"Simulation of fuel rod irradiation capsules in water loops by electric heater rods".

LOPEZ, J.; MONTES, M.; SERRANO, J.; HAEFNER, H.E.(1984)32 pp. 13 figs. 5 refs.

The out of pile simulation of irradiation devices was carried out by J.E.N. in the frame of the KfK-JEN joint experiment for irradiation of fast reactor fuel rods (IVO-FR2-Vg7). A typical single-wall-NaK (22% Na, 78%K) electrical heated capsule was fabricated and hydraulical tests were done. The capsule was instrumented with 10 thermocouples in order to obtain the radial temperature profile into the capsule in function of the electrical rod power (max. 215 W/cm), flow rate (max. 2,4 m³/h) and coolant temperature (max. 600 C). The experimental values are compared to the TECAP-Code results.

INIS CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS: E11.00; E37.00. Irradiation Capsules. Fuel Rods. Simulators. Fast Reactors. Comparative evaluations. T Codes. Temperature Control. Fuel Pins.

J.E.N. 557

Junta de Energía Nuclear. División de Elementos Combustibles. Madrid.

"Simulation of fuel rod irradiation capsules in water loops by electric heater rods".

LOPEZ, J.; MONTES, M.; SERRANO, J.; HAEFNER, H.E.(1984)32 pp. 13 figs. 5 refs.

The out of pile simulation of irradiation devices was carried out by J.E.N. in the frame of the KfK-JEN joint experiment for irradiation of fast reactor fuel rods (IVO-FR2-Vg7). A typical single-wall-NaK (22% Na, 78%K) electrical heated capsule was fabricated and hydraulical tests were done. The capsule was instrumented with 10 thermocouples in order to obtain the radial temperature profile into the capsule in function of the electrical rod power (max. 215 W/cm), flow rate (max. 2,4 m³/h) and coolant temperature (max. 600 C). The experimental values are compared to the TECAP-Code results.

INIS CLASSIFICATION AND DESCRIPTORS: E11.00; E37.00. Irradiation Capsules. Fuel Rods. Simulators. Fast Reactors. Comparative evaluations. T Codes. Temperature Control. Fuel Pins.