

C. N. E. A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
NO 1	AÑO 1985

PROGRAMA "DISTEM" - VERSION 1

MODELOS DE SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO TERMICO Y MECANICO DE
COMBUSTIBLES NUCLEARES TIPO PLACA EN CONDICIONES NORMALES DE
OPERACION (NO ACCIDENTALES)

H.E. Nassini, N.M. Lema, J.A. Casario
Comisión Nacional de Energía Atómica

1. INTRODUCCION

Una de las características de los reactores nucleares es que, teóricamente, no existe un límite superior para la producción de potencia, resultante del proceso de fisión. Sin embargo, en la práctica, el máximo nivel de potencia de un reactor está condicionado por la velocidad con que puede extraerse el calor generado, ya que las temperaturas originadas representan condiciones limitantes de diseño por diversos motivos: cambios de fase en los combustibles nucleares, refrigerante y/o moderador, tensiones térmicas, deformaciones, creep, etc.

En el caso de los reactores experimentales y de investigación, si bien la potencia térmica generada es pequeña, los efectos de la corrosión, las tensiones termomecánicas y las distorsiones geométricas que soportan las placas combustibles determinan la necesidad de mantener las temperaturas dentro de límites admisibles.

Con el objeto de simular el comportamiento térmico y mecánico de un combustible tipo placa durante su irradiación y verificar el cumplimiento de los límites impuestos en su diseño, se ha confeccionado esta primera versión del programa DISTEM, en lenguaje FORTRAN IV, para ser implementada en la facilidad actualmente disponible del Centro de Cálculo Científico de CNEA (IBM 370/158).

A tal efecto se estudiaron y seleccionaron modelos representativos de los mecanismos de transferencia del calor generado y de las sollicitaciones térmicas y mecánicas a que se encuentran sometidas las placas combustibles considerando dos hipótesis fundamentales: 1) funcionamiento del reactor en estado estacionario y en condiciones normales (no accidentales); 2) propiedades físicas y mecánicas de los materiales constantes e independientes de la temperatura.

2. DESCRIPCION DEL PROGRAMA. DATOS DE ENTRADA. PARAMETROS CALCULADOS

Los datos de entrada al programa DISTEM pueden clasificarse en cuatro grupos:

- a) DATOS DEL REACTOR (potencia térmica promedio del reactor, configuración geométrica del núcleo, temperatura de entrada y velocidad promedio del refrigerante).
- b) DATOS GEOMETRICOS DEL ELEMENTO COMBUSTIBLE (número de placas por elemento combustible, dimensiones de los canales de refrigeración y de las superficies calefactores).
- c) DATOS GEOMETRICOS DE LA PLACA COMBUSTIBLE (dimensiones de la zona activa, espesor de núcleo y recubrimiento).
- d) PROPIEDADES TERMICAS Y MECANICAS DEL NUCLEO COMBUSTIBLE, RECUBRIMIENTO Y REFRIGERANTE (conductividad térmica, densidad, capacidad calorífica, coeficiente de dilatación lineal, módulo de elasticidad).

Con estos datos y a partir de las hipótesis mencionadas anteriormente, el programa selecciona el canal "más caliente" del reactor, definiendo como tal a aquél que se encuentra sometido a las condiciones más exigidas de operación. Para ello se admite una distribución cosenoidal del flujo neutrónico (y por lo tanto calórico) en las direcciones radial y longitudinal, considerando un sistema de coordenadas cuyo origen coincide con el centro del núcleo. Este canal caliente es dividido en su longitud en un cierto número de intervalos y el programa permite obtener para cada uno de ellos los siguientes parámetros:

- generación volumétrica de calor (calor generado por unidad de tiempo y por unidad de volumen de núcleo combustible);
- densidad de flujo calórico (calor transmitido por unidad de tiempo y por unidad de superficie de transferencia);
- temperatura media del refrigerante (temperatura del fluido a una distancia lo suficientemente alejada de la pared de la placa);
- temperatura de la pared exterior de la placa;
- temperatura en el plano central de la placa.

Además para el máximo valor de densidad de flujo calórico (que ocurre en el centro del canal) el programa calcula la distribución de temperaturas a través del espesor de la placa;

- tensiones térmicas en la pared exterior y en el plano cen-

tral de la placa;

- aumento del espesor de la placa por dilataciones térmicas;
- disminución de la altura del canal de refrigeración por dilataciones térmicas.

3. FUNDAMENTOS DE LOS MODELOS ADOPTADOS EN EL PROGRAMA

3.1 DISTRIBUCION DE TEMPERATURAS

En los cálculos de transferencia de calor se ha considerado la hipótesis de flujo unidireccional y simétrico respecto al plano medio de la placa. Esta hipótesis resulta válida teniendo en cuenta la configuración geométrica del sistema (placas de espesor reducido y gran superficie de transferencia) y además resulta conservativa. Se consideraron los siguientes mecanismos en la evacuación del calor generado:

- Convección forzada en la interfase placa combustible/refrigerante.

En primer lugar se determinó la temperatura media del refrigerante a lo largo del canal mediante un balance entre la velocidad de generación de calor y la velocidad de extracción del mismo, considerando un régimen estacionario y suponiendo que todo el calor se transfiere por convección a través de la interfase. Luego se determinó el coeficiente medio de transmisión de calor en el canal considerando un régimen de circulación turbulenta ($Re > 4000$) y propiedades físicas del fluido refrigerante constantes.

Finalmente, con estos valores y utilizando la ley de enfriamiento de Newton (para una interfase sólido/fluido), se obtuvo la temperatura de la pared exterior de la placa a lo largo del canal.

- Conducción a través del recubrimiento

En este caso, se trata de la transmisión de calor por conducción a través de un sólido con fuente calórica nula. Se aplicó la ley de Fourier para régimen estacionario y flujo unidireccional.

Transferencia térmica en la interfase recubrimiento/núcleo combustible

La resistencia térmica de contacto en una interfase sólido/sólido se considera mediante un coeficiente superficial de trans-

ferencia de calor, el cual depende de un gran número de variables como: propiedades térmicas de los materiales en contacto, presión de contacto entre ambas superficies, rugosidad superficial, etc. y se puede determinar experimentalmente o bien mediante modelos matemáticos que, de acuerdo con la bibliografía consultada, no resultan confiables.

En el caso de los combustibles placa, en la interfase núcleo/recubrimiento, existe un grado de unión metalúrgica producida por el proceso de colaminación a que son sometidos durante la fabricación, por lo cual puede suponerse que aun cuando exista una resistencia térmica, su valor debe ser pequeño. Dado que no se dispone, hasta el momento, de datos experimentales o analíticos de este valor, se consideró que el contacto térmico es perfecto y por lo tanto la temperatura a ambos lados de la interfase es la misma.

- Conducción a través del núcleo combustible

Aquí se trata de la transmisión por conducción a través de un sólido con fuente de calor interna, constante a través del espesor y ancho de la placa, pero variable a través de su longitud. Se aplicó nuevamente la ley de Fourier para régimen estacionario y flujo unidireccional.

3.2 TENSIONES TERMICAS Y DILATACIONES

En las placas combustibles las tensiones térmicas se originan por la superposición de dos efectos: a) una temperatura no uniforme en su interior; b) restricciones a la dilatación libre provocadas por las condiciones de vínculo (paredes laterales).

Existe además un tercer factor originado en el hecho de que la placa es un material compuesto, en el cual las propiedades físicas y mecánicas de las partes que la constituyen (núcleo combustible y recubrimiento) no son idénticas. Sin embargo este efecto resulta despreciable pues estas diferencias son pequeñas, ya que el núcleo combustible conserva las propiedades de ductilidad que le confiere la matriz de Al.

Para la determinación de las tensiones provocadas por la distribución de temperaturas no uniforme, se aplicó la teoría de placas delgadas, en la que se suponen nulas las tensiones en la dirección del espesor de la placa, considerando a ésta libre de restricciones externas. Luego se superpusieron a estas tensiones, aquéllas provocadas por las condiciones de vínculo. Para ello se adoptó la hipótesis de considerar nulas las deformaciones en la dirección del ancho de la placa, lo cual supone que el vínculo es totalmente rígido. Esta hipótesis, desde el punto de vista estructural, resulta conservativa.

Se determinaron así las tensiones resultantes en la pared exterior y en el plano central de la placa en toda su longitud activa.

Con respecto a las dilataciones, desde el punto de vista del diseño interesan fundamentalmente el aumento del espesor de la placa y la correspondiente disminución en la altura del canal de refrigeración, debido a que ello puede representar un aspecto crítico para la evacuación del calor generado.

Estos parámetros se calcularon considerando la dilatación total como la suma de las dilataciones del núcleo combustible y del recubrimiento, esto supone que este último no ofrece resistencia a la expansión de aquél, lo cual para este cálculo es conservativo.

4. APLICACION DEL PROGRAMA

A título de ejemplo, el programa DISTEM fue aplicado para simular el comportamiento de un elemento combustible tipo RA-3, en su versión actual de alto enriquecimiento (90% en U-235) y los resultados obtenidos se muestran a continuación.

En la Fig. 1 se puede observar la variación a través de la longitud del canal más caliente, de las temperaturas media del refrigerante, de la pared exterior y del plano central de la placa. En este caso se impone como límite de diseño que la temperatura de la superficie exterior de las placas no debe superar en ningún punto los 90°C para evitar los efectos de la corrosión acuosa. Como puede apreciarse, las temperaturas originadas resultan inferiores a este valor límite.

La Fig. 2 muestra la variación de la temperatura a través del espesor de la placa, para el valor de máxima densidad de flujo calórico (en el centro del canal). Se pueden apreciar las excelentes propiedades térmicas de los materiales utilizados que hacen muy pequeño el salto térmico.

En la Fig. 3 se puede observar la variación, a través de la longitud activa de la placa, de las tensiones térmicas en la pared exterior y en el plano central de la misma. En este caso se impone, como límite de diseño, que las tensiones no superen el límite elástico de los materiales ($> 60 \text{ N/mm}^2$), valor que no es alcanzado en ningún punto de la placa.

Con respecto a las variaciones del espesor de la placa y de la altura del canal de refrigeración, ambas resultaron despreciables.

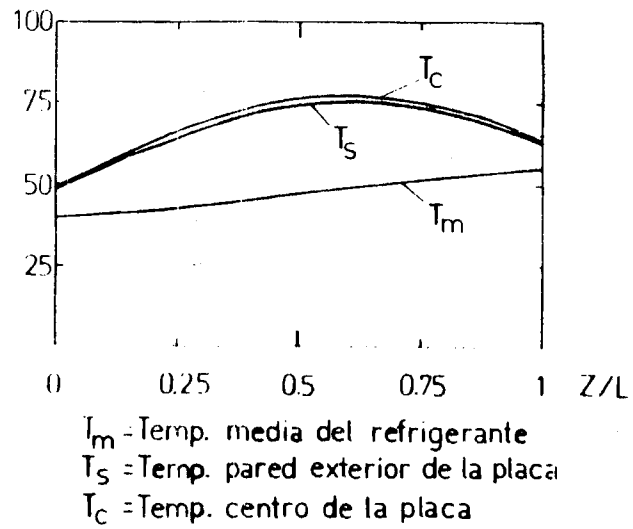


FIG. 1

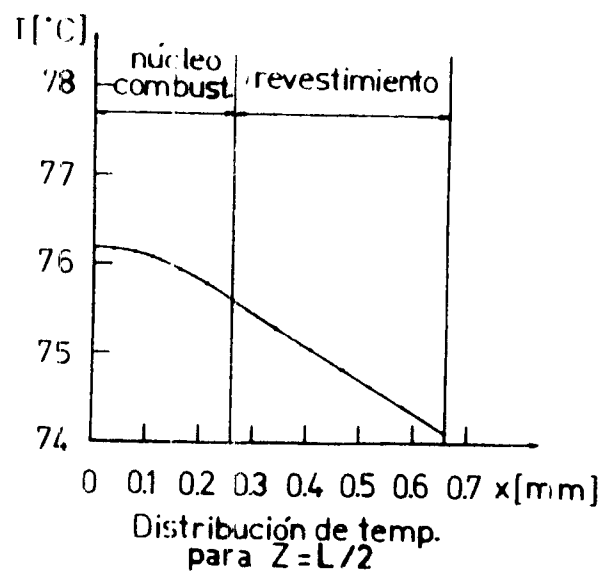


FIG. 2

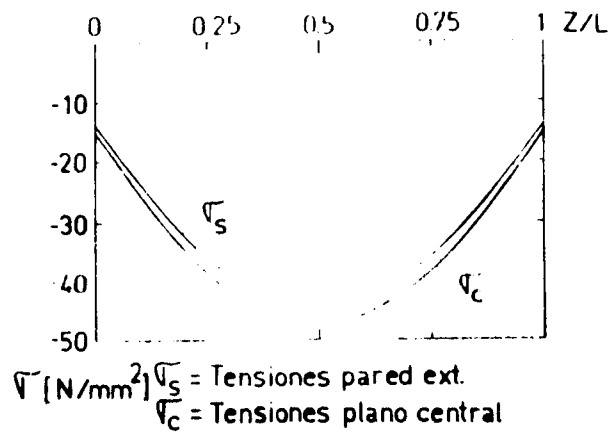


FIG. 3

5. DESARROLLOS FUTUROS

La presente versión del programa DISTEM constituye la primer etapa de un trabajo que se encuentra en desarrollo con el objeto de aplicarlo a la verificación del diseño de elementos combustibles de bajo enriquecimiento ($< 20\%$ en U-235). Este trabajo se completará con la inclusión de modelos fenomenológicos que tengan en cuenta los efectos de la temperatura y la irradiación (hinchado, propiedades de materiales).