

# CEAC-R

CEAC-R-

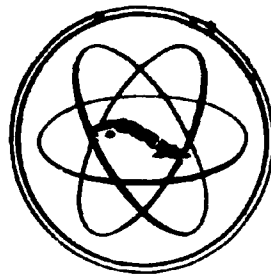
- 5/90 -

COMISION DE ENERGIA ATOMICA DE CUBA

CALCULOS DINAMICOS DEL REACTOR DE INVESTIGACIONES  
IRT DEL CIN

NUCLEAR RESEARCH CENTRE IRT REACTOR DYNAMICS  
CALCULATION

Alemán Fernández, J. R.



**We regret that some of the pages in the microfiche copy of this report may not be up to the proper legibility standards, even though the best possible copy was used for preparing the master fiche**

Clasificación temática del INIS

E 24.00

Reactor Control Systems

DESCRIPTORES

IRT REACTOR

POOL TYPE REACTORS

CUBA

SYSTEMS ANALYSIS

REACTOR SAFETY

TRANSIENT OVERPOWER ACCIDENTS

Aprobado por el Consejo Científico Ramal de la  
Esfera Nuclear el 29 de noviembre de 1989.

**Cálculos dinámicos del reactor de investigaciones IRT  
del CIN**

**Alemán Fernández, J. R.**

**Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear  
(CEADEN), Ciudad de La Habana, Cuba**

## CALCULOS DINAMICOS DEL REACTOR DE INVESTIGACIONES IRT DEL CIN.

RESUMEN : En el presente trabajo se describen las características fundamentales del programa de cálculo dinámico DIRT.

Con los resultados de cálculo obtenidos con dicho programa, se realiza un análisis del comportamiento dinámico del reactor de investigaciones IRT del Centro de Investigaciones Nucleares (CIN) ante diversos procesos transitorios como; variación de la reactividad del sistema, variación de la temperatura inicial del refrigerante y variación de velocidad del refrigerante a través de la zona activa.

ABSTRACT :The main features of the code DIRT, for dynamical calculations are described in the paper. With the results obtained by the program, an analysis of the dynamic behaviour of the Research Reactor IRT of the Nuclear Research Center (CIN) is performed. Different transitories were considered such as variation of the system reactivity,

coolant inlet temperature variation and also variations of the coolant velocity through the Reactor core.

## 1- INTRODUCCION.

En el trabajo se da a conocer el programa de cálculo termodinámico DIRT, desarrollado con el objetivo de realizar algunos análisis dinámicos del reactor de investigaciones del Centro de Investigaciones Nucleares (CIN), que deben servir de contrapartida al informe de seguridad de dicha instalación.

Se describen las características fundamentales del programa y los ficheros de entrada-salida para que sirvan de guía de utilización del mismo en futuros cálculos.

En el trabajo se presentan los resultados de los cálculos de diferentes transientes en el reactor de investigaciones IRT.

Las perturbaciones introducidas al sistema son :

- 1- Variación de la reactividad del sistema.
- 2- Variación de la temperatura de entrada del refrigerante a la zona activa.
- 3- Variación de la velocidad del refrigerante a través de la ZA.

## 2- MODELO DE CALCULO.

El modelo de cálculo para el estado estacionario es similar al empleado en el programa ISTRAl/. Las diferencias fundamentales con el modelo antes mencionado son descritas a continuación.

La distribución de temperatura en los elementos combustibles (ELCOS) de la caseta IRT delimita en la región combustible dos zonas en las que se definen flujos térmicos en dirección opuesta (Fig.1).

Partiendo de los datos de entrada, la subrutina TUBE/1/ calcula la temperatura en la superficie de los ELCOS  $T(1,i)$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] y los flujos térmicos por unidad de altura  $Q(1,i)$  [W/M], con estos datos e integrando la ecuación de Fourier en geometría cilíndrica es posible determinar las siguientes temperaturas :

$$TFC(1,i) = T(1,i) + QL(1,i) / (2\pi \lambda c) \ln(R(i)/RF(i)) (-1)**i \quad (1)$$

$$\overline{TC}(1,i) = T(1,i) + QL(1,i) / (2\pi \lambda c) (-1)**i [1/2 - RF(i)**2 / (R(i)**2 - RF(i)**2) \ln(R(i)/RF(i))] \quad (2)$$

$$TMA(1,i) = TFC(1,i) + SD(1,j) / (2 \lambda r) [RMA(1,j)**2 \ln(RMA(1,j)/RF(i)) - (RMA(1,j)**2 - RF(i)**2) / 2] \quad (3)$$

$$\overline{TF(1,i)} = TFC(1,i) + SD(1,j) / (2/f) [RMA(1,j)**2 * (RMA(1,j) - (RMA(1,j)**2 - RF(i)**2) \ln(RMA(1,j)/RF(i)) - 1/2) - (RMA(1,i)**2 - RF(i)**2) / 4] \quad (4)$$

Para : l=1,2,.....,NOL

j=1,2,.....,NOZ

$$i = \begin{cases} (2*j+1) \\ (2*j) \end{cases}$$

NOZ=Número de ELCOS en el conjunto combustible (COCO).

NOL=Número de secciones axiales definidas en el ELCO.

RMA(1,j)= Radio en que se alcanza la temperatura máxima en la región (1,j) del COCO [M].

$$RMA(1,j) = (RF(1,(2j+1))**2 + QL(1,(2j+1)) / (TSD(1,j)))**1/2$$

SD(1,j)= Potencia térmica volumétrica liberada en la región (1,j) del COCO [W/M\*\*3].

RF(1)= Radio de la unión combustible funda [M].

R(i)= Radio de la superficie de la funda [M].

$\overline{TF(1,i)}$ = Temperatura media de la región combustible (1,i) del ELCO [°C].

TMA(1,j)= Temperatura máxima de la región (1,j) del ELCO [°C].



TFC(1,i)= Temperatura en la superficie del combustible en la región (1,i) [°C].

TC(1,i)= Temperatura media de la funda en la región (1,i) [°C].

En base a la metodología descrita se amplió el algoritmo de cálculo para el estado estacionario.

La parte dinámica del programa fué confeccionada en base al modelo del programa SALLY/2/ adaptando este a las condiciones de la caseta IRT.

Utilizando los resultados del estado estacionario, la subrutina CYCLE determina la variación del campo térmico en el COCO partiendo de perturbaciones externas introducidas al sistema.

Se analiza la variación de reactividad, potencia, concentración de núcleos precursores de neutrones retardados y de la energía térmica liberada producto de :

- Variación de la reactividad del sistema.
- Variación de la velocidad del refrigerante.

Se creó una subrutina (INTREF) que permite reiniciar el cálculo partiendo de los resultados del estado estacionario y variando las características de las perturbaciones introducidas al sistema. Con este fin los resultados del estado estacionario son guardados en un fichero de almacenamiento auxiliar de donde serán leídos posteriormente

antes del reinicio del cálculo dinámico.

### 3- DESCRIPCION DE ENTRADA-SALIDA.

La versión actual utiliza 4 ficheros de entrada-salida de acceso secuencial. Los datos de entrada son leídos del fichero # 5, el fichero # 1 es utilizado por el programa como almacenamiento auxiliar y para la salida de los resultados del cálculo son empleados los ficheros 4 y 6

En el fichero # 6 se escriben los principales resultados del cálculo. Después del encabezamiento y el título de la corrida se describe la geometría escogida para el cálculo del COCO, así como la distribución de potencia media longitudinal, superficial y volumétrica generada en el mismo. Se escriben las propiedades térmicas y las características termohidráulicas de los canales refrigerantes del COCO.

Las próximas impresiones corresponden al coeficiente de resistencia a la transferencia de calor entre la funda y el refrigerante y entre el combustible y la funda.

A continuación se describe el campo de temperatura para el combustible la funda y el refrigerante durante el estado estacionario.

Los últimos datos del fichero 6 corresponden a los valores

que describen el comportamiento dinámico del reactor :

- 1- Reactividad del sistema.
- 2- Potencia térmica.
- 3- Concentración de núcleos precursores de neutrones retardados.
- 4- Energía térmica liberada.
- 5- Temperatura de entrada del refrigerante a la zona activa [°C].
- 6- Temperatura media del refrigerante a la salida del COCO. [°C].
- 7- Temperatura máxima alcanzada en el COCO [°C].
- 8- Velocidad media del refrigerante [M/S].
- 9- Temperatura en cada región radial promediada axialmente [°C].

Los valores de los puntos 2,3 y 4 son dados en unidades relativas con respecto al estado estacionario.

Al alcanzarse la temperatura de ebullición del refrigerante o la temperatura de fusión del combustible, el programa se detiene y escribe la distribución del campo de temperatura en todo el COCO.

En el fichero 4 se escriben algunos resultados intermedios del cálculo, como la temperatura en la superficie de la funda y del combustible, la temperatura máxima del COCO en el estado estacionario, el coeficiente de transferencia de calor en cada región, etc.

Todos los resultados escritos son explicados claramente con los enunciados en el listado de salida.

### 3.1- Datos de entrada.

TABLA 1. Descripción de los datos de entrada.

FORMATO	NOMBRE	UNIDAD	SIGNIFICADO
20A4	TITLE(K) K=1,..20	[-]	Título de la corrida con un máximo de 80 caracteres.
8I10	NOZ	[-]	Número de tubuladuras en la caseta IRT.
	NOL	[-]	Número de secciones axiales.
	NOGD	[-]	Número de gupós de neutrones retardados.
	NOTS	[-]	Número de intervalos de tiempo para variaciones de reactividad.
8F10.0	TWINP1	[°C]	Temperatura de entrada del refrigerante a la zona activa.
	MW	[Kg/(M**2*S)]	Gasto másico de refrigerante.
	QVM	[W/(M**3)]	Desprendimiento de energía max. en el COCO.
8F10.0	R(ZON) ZON=1,.. ...,NOZ2 NOZ2=(2* NOZ+2)	[M]	Radio de la superficie de la funda.

TABLA 1. Descripción de los datos de entrada. (Cont.)

FORMATO	NOMBRE	UNIDAD	SIGNIFICADO
8F10.0	RF(ZON) ZON=1,... ...,NOZ3 NOZ3=(2* NOZ+1)	[M]	Radio de la superficie del combustible.
8F10.0	FR(ZON) ZON=1,... .....,NOZ	[-]	Distribución radial relativa del desprendimiento de energía.
8F10.0	FZ(LAY) LAY=1,... ...,NCL	[-]	Distribución axial del desprendimiento de energía.
8F10.0	DENSF	[Kg/M**3]	Densidad media del combustible.
	CFUEL	[J/(Kg*K)]	Calor específico del combustible.
	DENSC	[Kg/M**3]	Densidad media de la funda.
	CCAN	[J/(Kg*K)]	Calor específico de la funda.
	DENSW	[Kg/(M**3)]	Densidad del refrigerante.
	CWAT	[W/(M*K)]	Constante de conductividad térmica de la funda.
	FLAM	[W/(M*K)]	Constante de conductividad térmica del combustible.
8F10.0	FW(J) J=1,... ...,NOZ1 NOZ1=NOZ+1	[-]	Velocidad relativa del refrigerante.

TABLA 1. Descripción de los datos de entrada. (Cont.)

FORMATO	NOMBRE	UNIDAD	SIGNIFICADO
BF10.0	LT	[S]	Tiempo de vida media de los neutrones instantáneos.
	SOURCE	[-]	Fuente externa de reactividad en el estado estacionario.
	TFEED	[°C]	Diferencia entre la temperatura de salida y de entrada del refrigerante en la zona activa, a partir de la cual el programa considera las variaciones térmicas en los canales.
BF10.0	BET(GR) GR=1,... ...,NOGD	[-]	Fracción de los grupos de neutrones retardados.
BF10.0	LAM(GR) GR=1,... ...,NOGD	[1/S]	Constante de desintegración de los núcleos precursores de neutrones retardados.
BF10.	ROBEG(STEP)	[-]	Valor inicial de reactividad en el intervalo STEP.
Estos 3 valores se repi- ten para STEP=1,.. ...,NOTS	TIMER(STEP)	[S]	Valor del tiempo al final del intervalo STEP.
	ROEND(STEP)	[-]	Valor final de reactividad en el intervalo de tiempo STEP.

TABLA 1. Descripción de los datos de entrada. (Cont.)

FORMATO	NOMBRE	UNIDAD	SIGNIFICADO
8F10.0	ROF	[1/K]	Coefficiente de reactividad por temperatura del combustible.
	TMELT	[°C]	Temp. de fusión del combustible.
	RODU	[1/K]	Coefficiente de reactividad por efecto Doppler en el uranio.
	RODPU	[1/K]	Coefficiente de reactividad por efecto Doppler en el Plutonio.
	RICH	[1/K]	Enriquecimiento con plutonio del combustible.
	TD	[°C]	Temperatura Doppler de referencia.
8F10.0	ROC	[1/K]	Coefficiente de reactividad por temperatura de la funda.
	ROW	[1/K]	Parámetros para el cálculo del coeficiente de reactividad por temperatura del refrigerante. $(\delta R / \delta T)(1, z) = ROW + ROW1 * T(1, z)$
	ROW1		
	TBOIL	[°C]	Temperatura de ebullición del refrigerante.
	VK1	[-]	Parámetros para el cálculo de la disminución de la velocidad del refrigerante por fallos de la bomba: $V_w(t) = V_w * VK1 * ((VK1 + 1) / ((VK1 - 1) * e^{VK2 * t} - 1) / ((VK1 + 1) / (VK1 - 1) * e^{VK2 * t} + 1))$
	VK2	[-]	
			Donde: $V_w$ es la velocidad correspondiente al estado estacionario ( $T=0$ ).

TABLA 1. Descripción de los datos de entrada. (Cont.)

FORMATO	NOMBRE	UNIDAD	SIGNIFICADO
8F10.0	RAMEX	[Kg/S]	Parámetros que determinan la variación de la temperatura de entrada del refrigerante : $T_{inp} + RAMEX * t \quad t < TRAMEX$ $T_{inp}(t) =$ $T_{inp} + RAMEX * TRAMEX$ $t > TRAMEX$
	TRAMEX		donde: t...tiempo [S].  $T_{inp}$ - Temperatura de entrada del refrigerante a la zona activa en estado estacionario. [°C].
	COLEX1	[S]	Tiempo en que se completa un ciclo del refrigerante.
	HEX1	[1/S]	Parámetros que determinan la variación de temperatura media en los tubos del intercambiador de calor : $d\theta_1/dt = HEX1(\theta_2 - \theta_1) - 2(\theta_1 - \mu_1) / TEX1$
	TEX1		
	HEX2		$d\theta_2/dt = HEX2(\theta_1 - \theta_2) - 2(\theta_2 - \mu_1) / TEX2$
	TEX2		donde : $\theta_1$ ...Temperatura media del refrigerante en el intercambiador de calor por la parte del primer circuito. $\theta_2$ ...Temperatura media del refrigerante en el intercambiador de calor por la parte del segundo circuito.
	TAUEX	[S]	Tiempo que demora el refrigerante entre la salida del intercambiador de calor y la entrada en la zona activa.



TABLA 1. Descripción de los datos de entrada. (Cont.)

FORMATO	NOMBRE	UNIDAD	SIGNIFICADO
BF10.0	EPSN	[-]	Variación relativa máxima de la concentración de núcleos precursores de neutrones retardados en un paso de tiempo.
	EPST	[°C]	Variación máxima de temperatura permitida en un paso de tiempo.
BF10.0	DTIME1	[S]	<p>Parámetro de control para la integración en el tiempo ( T ).</p> <p>Si : <math>DTIME1 &lt; 0</math> --- <math>t = DTIME1</math></p> <p>Si : <math>DTIME1 &gt; 0</math> --- <math>t = DTIME1</math></p> <p>y es controlado por los parámetros EPSN y EPST.</p> <p>Si : <math>DTIME1 = 0</math> --- <math>t = 5 * LT</math> y es controlado por los parámetros EPSN y EPST.</p>
I4	ISTEP	[-]	# del intervalo de tiempo donde se varía la velocidad de inserción de reactividad
4E20.10	TIMERU	[S]	Máximo valor de tiempo en que se produce la inserción de reactividad en el intervalo ISTEP.
	PASORE	[-]	Paso para la variación del intervalo de tiempo en que se produce la inserción de reactividad.
	PASOT	[-]	Paso para la variación del intervalo de tiempo en el que cambia el valor de la temperatura de entrada del refrigerante en la zona activa.

TABLA 1. Descripción de los datos de entrada. (Cont.)

FORMATO	NOMBRE	UNIDAD	SIGNIFICADO
	TFIN	[S]	Máximo valor del intervalo de tiempo donde se produce la variación de la temperatura de entrada del refrigerante.
4E20.10	DTEN	[°C]	Variación de la temperatura de entrada del refrigerante
	TT0	[S]	Tiempo inicial en que se alcanza la fracción de velocidad FVT1.
	TT1	[S]	Tiempo máximo (T1) en que se alcanza la fracción de velocidad FVT1.
	FVT1	[-]	Fracción de velocidad del refrigerante en el tiempo T1 : $FVT1 = V(T1)/Vw$ donde : Vw es la velocidad correspondiente al estado estacionario (T=0).
4E20.10	FTT1	[-]	Fracción de tiempo (T1/TX)
	FVTX	[-]	Fracción de velocidad del refrigerante en el tiempo (TX) : $FVTX = V(TX)/Vw$
	VK1I	[-]	Valor inicial del parámetro VK1.
	PASOV	[S]	Paso de tiempo para la variación de la velocidad del refrigerante.

Si no se desea calcular la variación de velocidad del refrigerante : VK1=0 y VK2 pueden tener cualquier valor.

Si no se desea simular la variación de la temperatura de entrada del refrigerante en la zona activa debe ser RAMEX=0 y TRAMEX puede tener cualquier valor.

Si no se desea reiniciar el cálculo variando las características de inserción de reactividad debe ser  $TIMERU < TIMER(ISTEP) + PASORE$ . Si no se desea reiniciar el cálculo transformando la variación de la temperatura de entrada del refrigerante a la zona activa debe ser  $TFIN < TRAMEX$ .

Si no deseamos reiniciar el cálculo variando la velocidad del refrigerante a la entrada de la zona activa debe ser  $TFIN < TRAMEX$ .

Si no deseamos reiniciar el cálculo variando la velocidad del refrigerante debe ser  $TT1 < TTO$ .

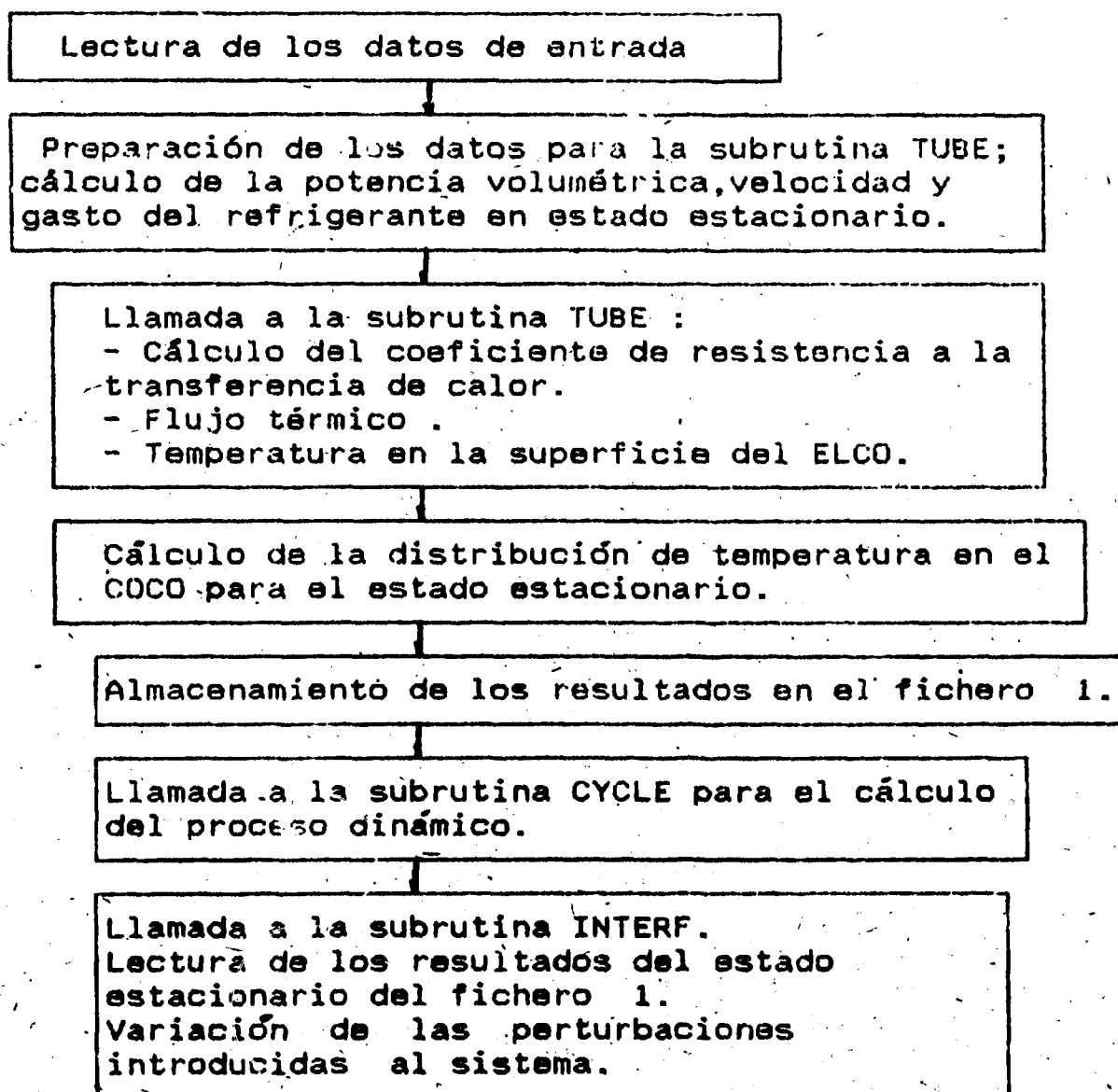
#### 4- CARACTERISTICAS FUNDAMENTALES.

El programa DIRT esta escrito en lenguaje FORTRAN IV, se compone de 835 instrucciones y fué puesto a punto en la computadora EC-1061 del centro de cálculo de la SEAN.

El tiempo de cálculo necesario está en dependencia del

número de divisiones dentro de la caseta combustible y del paso de integración utilizado. Una corrida estándar del programa con 752 regiones y un paso de integración igual a 0,1 [S], demora aproximadamente 2,5 [S] de CPU por cada segundo real del proceso analizado en una computadora EC-1061.

El siguiente diagrama de bloque representa de forma esquemática el proceso de cálculo empleado por el programa :



## 5- VARIACION DE LA REACTIVIDAD DEL SISTEMA.

La tabla # 2 muestra los resultados del cálculo para diversos procesos transitorios con aumento de la reactividad de forma lineal.

En el primer caso se introduce una reactividad positiva en el sistema a la velocidad máxima permitida ( $1,5 \cdot 10^{-4}$  [1/S]) /3/. En los restantes procesos analizados la velocidad de inserción disminuye gradualmente hasta  $0,75 \cdot 10^{-4}$  [1/S].

De los resultados expuestos en esta tabla se puede concluir que al disminuir la velocidad de inserción de reactividad en el reactor estacionario, el sistema requiere de un intervalo de tiempo más prolongado para alcanzar los valores máximos de temperatura y reactividad, sin embargo al disminuir la velocidad del proceso, los efectos de retroalimentación son igualmente más lentos, por lo que el refrigerante puede alcanzar la temperatura de ebullición introduciendo una reactividad menor, incluso los valores máximos de temperatura alcanzados en el combustible en el momento de inicio de la ebullición son superiores en algunos procesos más lentos.

Al aumentar la reactividad del sistema, aumenta la densidad de neutrones térmicos y el número de fisiones en el combustible, por lo que comienza a elevarse la temperatura del combustible y del refrigerante en la zona activa.

Estas variaciones de temperatura provocan efectos de retroalimentación de reactividad que se contraponen a los antes mencionados.

En la tabla # 3 se puede apreciar que a partir del segundo 18 del transiente, predominan en el sistema los efectos negativos de retroalimentación de reactividad por temperatura, los que provocan una nueva disminución de los valores de reactividad y tienden a estabilizar el reactor en un nuevo estado estacionario.

#### 6- VARIACION DE LA TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE A LA ENTRADA DE LA ZONA ACTIVA.

El programa simula la variación de la temperatura inicial del refrigerante con ayuda de los datos de entrada RAMEX y TRAMEX por la fórmula :

$$RAMEX = (TWI(TRAMEX) - TWI(t_0)) / \Delta t \quad (6)$$

Donde :

$$\Delta t = TRAMEX - t_0$$

$t_0$ .....Tiempo en que se inicia la variación de temperatura [S].

TRAMEX..Tiempo en que finaliza la variación de temperatura [S].

TWI(T)..Temperatura inicial del refrigerante en función del tiempo [°C].

En la tabla # 4 se comparan los resultados del cálculo de varios transientes con disminución de la temperatura de entrada del refrigerante en la zona activa, desde su valor nominal en el estado estacionario 45 [°C] hasta 5 [°C] en diferentes intervalos de tiempo  $\Delta t$ . Posteriormente la temperatura de entrada permanece constante hasta los 70 [S] analizados en el transiente.

De la tabla # 4 se puede observar que al aumentar la velocidad de variación de la temperatura inicial del refrigerante, se alcanzan valores superiores de temperatura en el conjunto combustible durante el proceso transitorio. Los mayores valores de temperatura se alcanzan en el proceso descrito en la tabla # 5.

De la tabla # 5 se puede observar que la brusca disminución de la temperatura del refrigerante provoca efectos de retroalimentación que predominan en el sistema durante los primeros segundos del transiente provocando un aumento de los valores de reactividad. Este aumento de reactividad produce un aumento de la temperatura del combustible, al cesar la

disminución de la temperatura inicial del refrigerante.

El efecto Doppler producido en el combustible trae como consecuencia una disminución de los valores de reactividad a partir de los 15 segundos del proceso.

En la tabla # 6 se comparan varios procesos con aumento de la temperatura inicial del refrigerante. En todos los casos esta temperatura varía en 40 [°C] y dicha variación se produce en intervalos de tiempo entre 10 y 40 [S]. A partir de este momento la temperatura de entrada permanece constante. El caso más peligroso de los analizados según los valores de temperatura alcanzados se muestra en la tabla # 7. De los resultados de la tabla se puede realizar un análisis dinámico del proceso en la instalación muy similar al desarrollado para el caso de la disminución de la temperatura de entrada, variando lógicamente el sentido de los efectos de retroalimentación que se originan en el transiente.

#### 7- VARIACION DE LA VELOCIDAD DEL REFRIGERANTE.

El programa simula la variación de la velocidad de entrada del refrigerante en la ZA ( $V_w(t)$ ) con la fórmula : /2/

$$V_w(t) = V_w^{(0)} * VK1 * (VK3 * e^{-(VK2*t)} - 1) / (VK3 * e^{-(VK2*t)} + 1)$$



donde :  $v_w$  es la velocidad del refrigerante correspondiente al estado estacionario.

$$VK3=(VK1+1)/(VK1-1)$$

VK1, VK2... Coeficientes empíricos dados como datos de entrada.

En el subprograma INTERF se a desarrollado un algoritmo para el cálculo de los parámetros VK1 y VK2 en dependencia de las condiciones en que varía la velocidad del refrigerante (ver descripción de los datos de entrada).

En la tabla # 8 se comparan varios procesos transitorios con disminución de la velocidad del refrigerante. Los procesos analizados corresponden a una variación de la velocidad del refrigerante en un rango entre 25 y 75 [%] de su valor nominal en un intervalo de tiempo que oscila entre 5,5 y 9 [S].

En la tabla # 9 se puede observar que con la disminución de la velocidad del refrigerante se produce un aumento de la temperatura del mismo, con lo que se origina una reactividad negativa producto de la retroalimentación.

Las variaciones térmicas del refrigerante al inicio del transiente producen un aumento de la temperatura del combustible, lo cual provoca a su vez nuevos efectos de retroalimentación que se suman a los producidos por el refrigerante.

La reactividad negativa en el sistema alcanza su valor mínimo a los 8 [S] del transiente, a partir de entonces comienza a aumentar debido a que los efectos positivos de retroalimentación, provocados por la disminución de la temperatura del combustible a partir del segundo 8 son superiores a los efectos negativos producidos por el aumento de la temperatura del refrigerante.

#### 8- CONCLUSIONES.

De manera general podemos concluir que la instalación es segura a las perturbaciones analizadas, ya que a pesar de alcanzarse en algunos transientes, la temperatura de ebullición del refrigerante, en todos los ejemplos analizados se aprecia que la reactividad del sistema es controlada por los efectos de retroalimentación, sin la intervención de los sistemas de defensa del reactor, notándose al final del proceso una tendencia a la disminución de este parámetro, lo cual debe conducir a un nuevo estado estacionario.

El programa DIRT representa un modelo útil para el análisis dinámico del reactor de investigaciones del CIN.

## 9- RECOMENDACIONES.

Los resultados obtenidos con el programa DIRI deben ser validados con mediciones en instalaciones similares y comparados con los resultados de otros programas de cálculo dinámico

## 10- LITERATURA.

/1/ Traducción de la documentación del programa ISTRÁ.

Documento del departamento de reactores. UPCIN.

/2/ Reporte SALLY : A computer programme for the calculation of the dynamical BEHAVIOR of a cooling channel ZFR-371/1978.

/3/ Proyecto Técnico del Centro de Investigaciones Nucleares.

TABLA 2. Procesos transitorios con aumento de la reactiv.

TIEMPO DE INICIO DE EBULLICION [S]	REACT. INTRODUCIDA	VELOCIDAD DE insercion DE REACTIVIDAD [1/S]	TEMP. MAX		REACT. MAX		DENS. NEUT	
			VALOR [°C]	T [S]	VALOR *10 <sup>2</sup>	T [S]	VALOR	T [S]
45	0,00675	0,00015	340,5	45	0,1487	19	8,88	45
51	0,00656	0,00013	337,3	51	0,1384	22	9,02	51
57	0,00641	0,00011	335,9	57	0,1301	23	11,90	57
63	0,00630	0,00010	335,4	63	0,1229	25	11,87	63
69	0,00621	0,00009	335,5	69	0,1167	26	11,88	69
75	0,00614	0,00008	336,0	75	0,1112	28	11,90	75
80	0,00600	0,00007	331,5	80	0,1064	29	11,70	80

TABLA 3. Aumento de la reactividad del sistema con velocidad de  $1,5 \cdot 10^{-4}$  [S].

TIEMPO. [S]	REACTIVIDAD.	DENSIDAD NEUTRONICA RELATIVA.	TEMPERATURA MEDIA A LA SALIDA DE LA ZA [°C].	TEMPERATURA MAXIMA DEL COMBUSTIBLE [°C].
0,0	0,0	1,00000	53,0	90,1
3,0	0,000381	1,08476	53,3	92,0
6,0	0,000716	1,22051	53,8	95,1
9,0	0,001005	1,41435	54,6	99,5
12,0	0,001236	1,68181	55,7	105,5
15,0	0,001398	2,04254	57,1	113,6
18,0	0,001479	2,51733	59,0	124,3
21,0	0,001475	2,12340	61,4	138,0
24,0	0,001390	3,86944	64,4	154,8
27,0	0,001236	4,75321	67,9	174,7
30,0	0,001033	5,76299	71,9	197,5
33,0	0,000798	6,88170	76,4	222,7
36,0	0,000548	8,09091	81,2	250,0
39,0	0,000294	9,37352	86,3	279,0
41,0	0,000127	10,26198	89,8	299,0
44,0	-0,000117	11,63543	95,3	330,0
45,0	-0,000196	12,10250	97,2	340,5

TABLA 4. Transientes con disminución de la temperatura de entrada del refrigerante a la Z.A.

RAMEX. [°C/S]	TRAMEX. [S]	REACTIV MAX.		DENSIDAD NEUTR. MAXIMA.		TEMPERATURA MEDIA A LA SALIDA DE LA ZA		TEMPERATURA MAXIMA DEL COMBUSTIBLE	
		VALOR	T [S]	VALOR	T [S]	VALOR [°C]	T [S]	VALOR [°C]	T [S]
-1	10	0,001387	10	4,044	70	25,1	70	118,8	70
-2	20	0,001130	20	3,941	70	24,7	70	116,5	70
-1,3	30	0,000958	25	3,826	70	24,3	70	113,9	70
-1,0	40	0,000843	29	3,697	70	23,7	70	111,0	70
-0,8	50	0,000758	32	3,141	70	23,1	70	107,6	70
-0,7	60	0,000693	36	2,947	70	22,5	70	103,7	70
-0,6	70	0,000640	38	2,705	70	21,6	70	98,7	70

TABLA 5. Disminución de la temperatura inicial del refrigerante.

RAMEX= -4 [°C/S]

TRAMEX= 10 [S]

TIEMPO [S].	REACTI- VIDAD.	DENSTOAD NEUTRO - NICA RE- LATIVA.	TEMPERATURA INICIAL DEL REFRIGERAN- TE [°C].	TEMPERATURA A LA SALIDA DE LA ZA[°C].	TEMPERATURA MAXIMA DEL COMBUSTIBLE [°C].
0,0	0,0	1,000	45,0	53	90,1
5,0	0,000731	1,289	25,0	34	77,1
10,0	0,001387	1,813	5,0	16,7	68,9
15,0	0,001992	2,178	5,0	17,7	76,7
20,0	0,000851	2,469	5,0	18,9	83,3
25,0	0,000667	2,717	5,0	19,8	88,9
30,0	0,000502	2,935	5,0	20,7	93,8
35,0	0,000358	3,127	5,0	21,5	98,1
40,0	0,000231	3,299	5,0	22,1	102,0
45,0	0,000118	3,454	5,0	22,6	105,5
50,0	0,000017	3,595	5,0	23,3	108,7
55,0	-0,000074	3,723	5,0	23,8	111,5
60,0	-0,000156	3,839	5,0	24,3	114,2
65,0	-0,000231	3,946	5,0	24,7	116,6
70,0	-0,000298	4,044	5,0	25,1	118,8

TABLA 6. Comparación de varios procesos con aumento de la temperatura inicial del refrigerante.

RAMEX. [°C/S]	TRAMEX [S]	REACTIV. MIN.		DENSIDAD NEUTRONICA MINIMA.		TEMPERATURA MAXIMA A LA SALIDA DE LA ZA.		TEMPERATURA MAXIMA DEL COMBUSTIBLE	
		VALOR	T [S]	VALOR	T [S]	VALOR [°C]	T [S]	VALOR [°C]	T [S]
4	10	-0,002814	11	0,1587	70	91	10	118,9	10
2	20	0,002749	20	0,1698	70	90,7	21	117,3	20
1,3	30	0,002701	31	0,1818	70	90,5	31	116,1	30
1,0	40	0,002666	40	0,1950	70	90,3	41	115,2	40
0,8	50	0,002636	50	0,2099	70	90,2	51	114,4	50
0,7	60	0,002611	60	0,2275	70	90,1	61	113,7	60
0,5	70	0,002588	70	0,2511	70	89,9	70	113,2	70

TABLA 7. Aumento de la temperatura inicial del refrigerante  
RAMEX= 4 [°C/S]  
TRAMEX= 10 [S].

TIEMPO [S].	REACTI- VIDAD.	DENSIDAD NEUTRO - NICA RE- LATIVA.	TEMPERATURA INICIAL DEL REFRIGERAN- TE [°C].	TEMPERAT. A LA SALIDA DE LA ZA [°C].	TEMPERATURA MAXIMA DEL COMBUSTIBLE [°C].
0,0	0,000000	1,00000	45,0	53,0	90,1
5,0	-0,001260	0,76747	65,0	71,6	104,4
10,0	-0,002812	0,52489	85,0	90,6	118,9
15,0	0,002750	0,43643	85,0	90,7	117,4
20,0	0,002707	0,38103	85,0	90,5	116,2
25,0	-0,002671	0,33999	85,0	90,3	115,2
30,0	-0,002641	0,30715	85,0	90,2	114,5
35,0	-0,002617	0,27966	85,0	90,1	113,9
40,0	-0,002596	0,25597	85,0	90,0	113,3
45,0	-0,002577	0,23516	85,0	89,9	112,9
50,0	-0,002561	0,21664	85,0	89,9	112,4
55,0	-0,002546	0,19999	85,0	89,8	112,1
60,0	-0,002532	0,18493	85,0	89,7	111,7
65,0	-0,002520	0,17122	85,0	89,7	111,4
70,0	-0,002509	0,15870	85,0	89,6	111,1

TABLA 8. Procesos transitorios con variación de la velocidad del refrigerante.

PARAMETRO DE LA FORMULA 7		TEMPERATURA MAXIMA DEL COCO.		REACTIVIDAD MINIMA.		TEMPERATURA MAXIMA A LA SALIDA DE LA ZA.		VELOCIDAD MINIMA.	
VK1	VK2	VALOR [°C]	TIEMPO [S]	VALOR 10**3	TIEMPO [S]	VALOR [°C]	TIEMPO [S]	VALOR [M/S]	TIEMPO [S]
0,25	0,5	100,8	8	-0,616	8,0	73,9	9,0	1,37	15
0,50	0,5	93,3	6	-0,204	7,0	60,3	9,0	2,75	12
0,75	0,5	91,1	5	-0,068	6,0	55,5	8,0	4,12	12
0,25	0,7	101,2	5	-0,637	6,0	73,9	7,0	1,37	11
0,50	0,7	93,5	5	-0,210	5,0	60,4	7,0	2,75	9
0,75	0,7	91,1	3	-0,700	4,5	55,5	5,5	4,12	9

TABLA 9. Transiente con variación de la velocidad del refrigerante. VK1=0,25, VK2=0,50.

TIEMPO [S]	VELOCIDAD [M/S]	REACTIVIDAD *10**3	TEMPERATURA A LA SALIDA DE LA ZA.	TEMPERATURA MAXIMA DEL COCO. [°C]	DENSIDAD NEUTRO - NICA RELATIVA.
0,0	5,50	1,000	53,0	90,1	1,00000
1,0	3,08	-0,198	58,7	93,0	0,97031
2,0	2,20	-0,353	63,9	95,9	0,93770
3,0	1,82	-0,465	67,6	98,0	0,90942
4,0	1,63	-0,539	70,1	99,3	0,88603
5,0	1,52	-0,582	71,7	100,2	0,86688
6,0	1,46	-0,605	72,6	100,6	0,85103
7,0	1,43	-0,614	73,2	100,7	0,83766
8,0	1,41	-0,616	73,5	100,8	0,82612
9,0	1,39	-0,613	73,6	100,7	0,81595
10,0	1,39	-0,607	73,6	100,5	0,80684
20,0	1,37	-0,531	72,6	98,8	0,74366
30,0	1,37	-0,474	72,2	97,5	0,70136
40,0	1,37	-0,429	71,6	96,4	0,66752
50,0	1,37	-0,390	71,2	95,5	0,63856
60,0	1,37	-0,355	70,8	94,7	0,61293
70,0	1,37	-0,324	70,4	94,0	0,58983
80,0	1,37	-0,296	70,0	93,4	0,56878
90,0	1,37	-0,270	69,7	92,8	0,54946
100,0	1,37	-0,246	69,5	92,2	0,53164

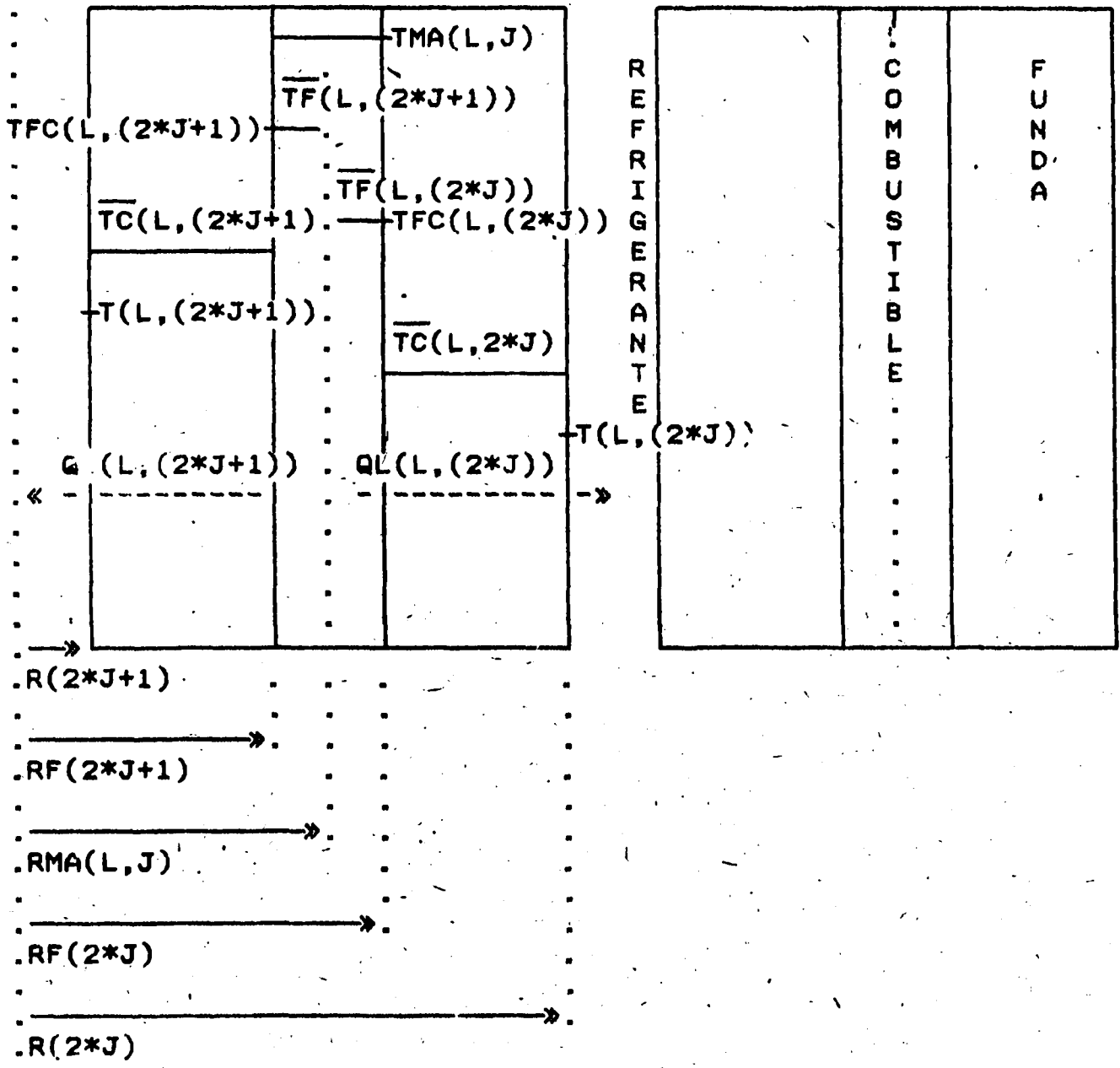


FIGURA 1. DISTRIBUCION DE TEMPERATURA EN EL ELCO CENTRAL DE LA CASETA COMBUSTIBLE IRT.



Impreso en el Centro de Información de la  
Energía Nuclear.

La Habana, Cuba, diciembre 1990.