

CV9200135

CEAC-R

6/92

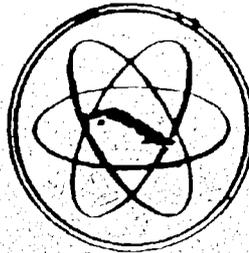
COMISION DE ENERGIA ATOMICA DE CUBA

PERFECCIONAMIENTO DEL CODIGO ALFA

IMPROVEMENTS TO THE CODE ALFA

Alemán Fernández, J. R.

Domech Moré, J.



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

E32.00

Power reactors, non-breeding, light water moderated, non-boiling water cooled (PWR, etc., types)

DESCRIPTORES

NUCLEAR POWER PLANTS

WWER - TYPE REACTORS

HEAT TRANSFERS

HYDRAULICS

FRICTION FACTOR

COMPUTER CALCULATION

Aprobado por el Consejo Científico de la Esfera Nuclear el 19 de marzo de 1992.

PERFECCIONAMIENTO DEL CODIGO ALFA

Alemán Fenández, J. R.

Domech Moré, J.

Unidad Presupuestada para la Construcción
del Centro de Investigaciones Nucleares
(UPCIN), La Habana, Cuba.

PERFECCIONAMIENTO DEL CODIGO ALFA.

Resumen En el presente trabajo se describe el algoritmo del programa ALFA creado para el cálculo del coeficiente de transferencia de calor y del coeficiente de resistencia hidráulica por rozamiento en diversos puntos de una Central Electronuclear con reactores VVER, señalando algunas mejoras introducidas al modelo original.

Se presentan igualmente los resultados de cálculo obtenidos en un amplio rango de presión y temperatura de un canal refrigerante dentro de la zona activa del reactor.

Abstract The Computer Code ALFA was created for the calculation of the heat transfer coefficient and the hydraulic friction factor in various points of a Nuclear Power Plant with VVER-type reactor. In this paper the algorithm of the program is described. At the same time we

highlight several improvements introduced to the original model. Results are reported for a wide range of temperature and pressure within a cooling channel of the core.

INDICE.

I.	Introducción.	..3.
II.	Descripción del algoritmo.	..6.
II.1.	Función ALFÁ.	..7.
II.1.1.	Cálculo del coef. de transferencia de calor.	..7.
II.1.2.	Cálculo del coeficiente de resistencia hidráulica por rozamiento.	..9.
II.2.	Unidades de programa auxiliares.	..10.
III.	Principales transformaciones.	..11.
IV.	Resultado de los cálculos.	..15.
V.	Conclusiones.	..19.
VI.	Relación de símbolos, siglas, abreviaturas y subíndices.	..20.
VII.	Literatura.	..23.
VIII.	Gráficos y tablas.	..26.

I. INTRODUCCION.

El código ALFA realiza el cálculo del coeficiente de transferencia de calor y del coeficiente de resistencia hidráulica por rozamiento en diversos puntos de una Central Electronuclear con reactores VVER incluyendo la zona activa, como parte del programa DYNAMIKA-83 [1] desarrollado en el Instituto de Investigaciones de Centrales Electronucleares de Jaslovsque Bohunice para el análisis de procesos transitorios en este tipo de instalaciones.

En la actualidad se desarrolla una versión mejorada de este código con el objetivo de introducir nuevos modelos y adaptarlo a las características específicas de nuestra futura instalación. El presente trabajo contiene una descripción del algoritmo del programa ALFA destacando las principales transformaciones realizadas.

Se presentan igualmente los resultados obtenidos durante los cálculos comprobatorios, empleando como datos iniciales los parámetros típicos de un canal refrigerante en la ZA de un reactor VVER-440 dentro del rango de presión y temperatura

en que trabaja el programa.

Durante el cálculo de los regímenes transitorios y de avería en CEN con reactores VVER se observa una amplia variación en las condiciones de intercambio de calor y de la hidrodinámica en distintos elementos del primer y segundo circuito.

Los principales regímenes hidrodinámicos y de intercambio térmico considerados durante el análisis con el programa son los siguientes :

- 1- Régimen monofásico (agua o vapor).
- 2- Ebullición superficial.
- 3- Ebullición desarrollada.
- 4- Ebullición pelicular transitoria.
- 5- Ebullición pelicular.
- 6- Condensación.

Para $tp \geq tsat$ el régimen convectivo de calentamiento del agua se presenta muy escasamente , por lo que no se considera.

Para el flujo monofásico se observan 3 posibles regímenes : laminar, turbulento y transitorio entre ellos.

La condensación se observa cuando $i > i'$ y $tp < tsat$.

La ebullición superficial aparece al alcanzar la temperatura de la pared un valor superior al de la temperatura de saturación, sin embargo la entalpía media del líquido es aún menor que la entalpía de la curva inferior de saturación ($t_p > t_{sat}$ y $i \leq i'$).

Cuando la temperatura media del líquido aumenta hasta alcanzar la temperatura de saturación surge la ebullición desarrollada la cual se mantiene mientras no se alcancen los valores críticos de transferencia de calor ($t_p > t_{sat}$, $i' < i'_{crit}$, $Q < Q_{crit}$ y $x < x_{crit}$).

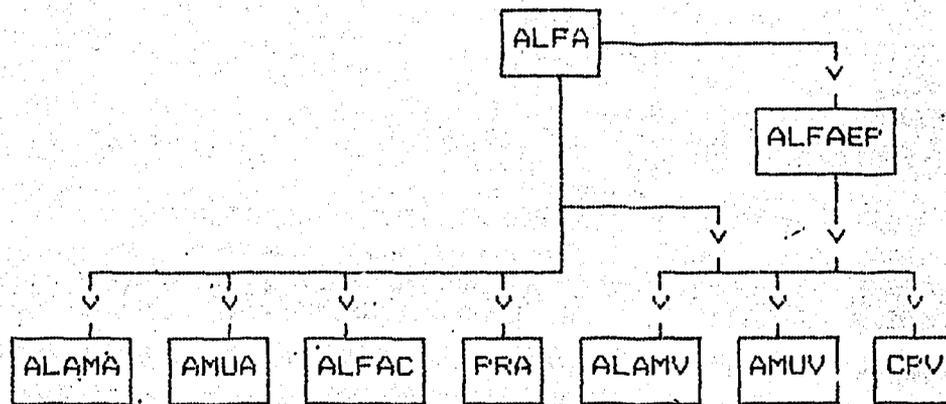
Al superarse los valores críticos de flujo o calidad se produce un empeoramiento de las condiciones de transferencia de calor producto de la formación de una película de vapor que dificulta la transferencia entre la pared del canal y el medio, surgiendo así el régimen de ebullición pelicular.

Producto de la variación de alfa en este régimen el flujo térmico disminuye independientemente de la variación de la temperatura de la pared del canal. La disminución del flujo térmico por debajo de los parámetros críticos sin embargo no significa el retorno a la ebullición por burbujas, lo cual no ocurrirá mientras la temperatura de la pared no alcance la temperatura del estado esferoidal (o punto de Leidenfrost)

[2],[3],[4] cuando el líquido comienza a llegar nuevamente a algunos puntos de la pared del canal hasta que se retorna al régimen de ebullición por burbujas.

II. DESCRIPCION DEL ALGORITMO.

El esquema 1 muestra un diagrama de flujo del programa donde se identifica la relación entre las diferentes unidades de programa .



Esquema 1. Diagrama de flujo del programa ALFA.

La tabla 1 contiene una descripción de las características y el significado de todas las variables empleadas, por unidad de programa.

II.1 Función ALFA.

II.1.1 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor.

El cálculo se inicia cuando el programa, utilizando la tabla de las propiedades termodinámicas del agua y del vapor interpola con los datos de presión para determinar la calidad, temperatura de saturación y los valores de entalpía y volumen específico en la línea de saturación.

Si el valor de la calidad es mayor que 1 el cálculo de alfa se realiza por el modelo de conversión del vapor (alfa_{cv}) [5], en caso contrario ($x \leq 1$) pasamos a determinar, dadas las condiciones iniciales, el régimen de transferencia para la elección del modelo a emplear. Una condición para la aplicación del modelo de ebullición pelicular (llamando a la función ALFAEP [6]) es que $tp \geq t_{esf}$.

Para $tp < t_{esf}$ la elección del modelo dependerá de la relación existente entre la temperatura de la pared del canal y la temperatura de saturación t_{sat} . Para valores de $tp < t_{sat}$ el coeficiente alfa se calcula (en caso que $x \leq 0$) por el modelo para la conversión del agua (alfa_{ca}) o (para $x > 0$) por el modelo para la condensación (alfa_{cond}) [5],[7]. Si $t \geq t_{sat}$ se calculan alfa y Q por uno de los siguientes modelos :

1- Conversión del agua saturada.

2- Modelo de Borishansko [8] para los regímenes de ebullición superficial y desarrollada.

3- Modelo de Jens-Lottes para la ebullición superficial [9].

4- Modelo de Thom para la ebullición superficial [9].

Posteriormente se analiza si existen o no las condiciones que determinan la crisis de intercambio térmico. Este análisis se realiza solo si el dato de entrada PR1 es diferente de -1. El primer paso es el cálculo del flujo térmico crítico por uno de los modelos siguientes :

1- Smolin [10].

2- Mirapolsky [11].

3- Tong [12],[13].

4- Bejrukov [14],[15].

5- Osmachkin [16].

Las condiciones suficientes para considerar la existencia de la CIT son :

$$-x \geq x_{cri}.$$

Donde: x_{cri} es la calidad crítica calculada según el modelo de Daroshik. Esta condición se chequea solo si el dato de entrada PR2 es diferente de 0.

$$-Q \geq Q_{cri}.$$

-No existen las condiciones para el paso del régimen de CIT hacia el régimen de ebullición desarrollada.

Esta condición es chequeada solo si $FR1=1$ como dato de entrada.

De cumplirse una de las tres condiciones mencionadas anteriormente se recalcula el valor de alfa por el modelo de ebullición pelicular con la función ALFAEP (para $PRPER$ diferente de 0 como dato de entrada) o con un modelo que considera el régimen transitorio entre la ebullición desarrollada y la pelicular [17] según se desee.

II.1.2. Cálculo del coeficiente de resistencia hidráulica por rozamiento.

Después de concluido el cálculo del coeficiente alfa, si se desea (para $MODTRKSI$ diferente de NO como dato de entrada), se realiza el cálculo de ϕ por uno de los siguientes modelos:

- 1- Homogéneo [18].
- 2- Taracov [19].
- 3- Osmachkin [20].
- 4- Martinelli-Nelson [21]; [22].

II.2. Unidades de programa auxiliares.

Función ALAMA.

Cálculo de la conductividad térmica del agua por el modelo descrito en [23].

Función ALAMV.

Cálculo de la conductividad térmica del vapor de agua por el modelo descrito en [23].

Función ALFAC.

Cálculo de alfa en régimen convectivo [5].

Función ALFAEP.

Cálculo de alfa durante la ebullición pelicular [6].

Función AMUA.

Cálculo de la viscosidad dinámica del agua [24].

Función AMUV.

Cálculo de la viscosidad dinámica del vapor de agua [23].

Función CPV.

Cálculo de la capacidad calorífica del vapor de agua a presión constante [23].

Función PRA.

Cálculo del # de Prantl para el agua [25].

III. Principales transformaciones.

Después de un estudio detallado del modelo de cálculo se comprobó que en diversos puntos del algoritmo no se chequeaba el cumplimiento de las condiciones para la aplicación de un modelo determinado, lo cual provocaba en ocasiones la utilización de un método de cálculo fuera de su rango de aplicación, estas deficiencias fueron corregidas en cada caso.

Durante el cálculo de las constantes físicas del agua; conductividad térmica y viscosidad dinámica, con los modelos descritos en [23] y [24], no se chequeaba previamente en el programa original, que el valor de la temperatura del medio se encontrara dentro del rango para la aplicación de los modelos mencionados, lo cual provocaba en ocasiones; para temperaturas inferiores a los 100 °C en el caso de λ y superiores a los 350 °C para el caso de μ (valores frecuentes durante el análisis de transientes en los reactores VVER) la introducción de errores en el cálculo de alfa y por tanto en la determinación del campo térmico.

El modelo propuesto por Mirapolsky [6] para el cálculo

del coeficiente de transferencia de calor durante el régimen de ebullición pelicular es válido para valores de velocidad másica inferiores a 2000 [Kg/(m².s)]. Para los análisis de seguridad en CEN con reactores VVER es necesario considerar valores superiores de velocidad másica del refrigerante en diversos puntos del primer circuito, por lo que es indispensable verificar este parámetro como condición necesaria para el empleo del modelo, lo cual se toma en cuenta en las transformaciones realizadas.

Como parte de los cambios realizados fue incluida la verificación de las siguientes condiciones en los modelos para el cálculo del flujo térmico crítico :

a) Para la aplicación del modelo de Osmachkin la calidad debe ser menor que 0,6.

b) El modelo de Mirapolsky para el cálculo de Q_{crit} es válido para valores de presión menores a las 100 atm.

c) La utilización del modelo de Smolin se condiciona a la existencia de presiones inferiores a las 120 atm.

De igual forma fue cambiado el algoritmo para el cálculo de la calidad crítica por el modelo de Daroshik, solo si la velocidad másica pertenece al intervalo entre 750 y 2000 [Kg/(m².s)].

El cálculo de alfa para los regímenes de ebullición desarrollada y superficial se realizaba en la versión original únicamente por el modelo de Borishansko [8], el cual es válido para :

- p en el intervalo (2;170) [atm],
- Q en el intervalo (19,49;1388,9) [Kcal/(m².s)],
- Velocidad del medio en el intervalo (1,300) [m/s].

Con el empleo de este método se obtienen buenos resultados en el cálculo de alfa en la ZA de los VVER [8], a demás de cubrir un rango bastante amplio de los parámetros técnicos (p, Q, w) .

Por esta razón tratamos de mantener el modelo original en su rango de aplicación , sin embargo para el análisis de procesos transitorios y de avería, los cuales cotemplen fallo en algunos elementos del sistema de defensa del reactor, pueden aparecer altos valores de presión y flujo térmico, por esto se requiere contar con modelos con un dominio más amplio de aplicación.

En la nueva versión del programa fueron introducidos los modelos de Thom y de Jens-Lottes [9] para el cálculo de alfa durante la ebullición superficial, con lo cual se amplía el diapazón para el cálculo de alfa en los siguientes intervalos:

- p en el intervalo (2;175) [atm].
- $Q < 3014,4$ [Kcal/(m².s)].
- Velocidad Másica en el intervalo (10;10497) [Kg/(s.m²)].

A través de los datos de entrada PR1 y PR2 (ver la tabla 1) del programa principal se escoge el modelo a aplicar para el cálculo de Q_{cri} y φ respectivamente (capítulo II.1). Durante el análisis de un proceso transitorio determinado con el programa DINAMICA las condiciones del sistema varían y la función ALFA es llamada en reiteradas ocasiones con nuevos valores de presión, temperatura, gasto, etc. La versión original verifica las condiciones del sistema para la aplicación del modelo solicitado y en caso de no cumplirse las mismas, no se realiza el cálculo de estos parámetros.

Con el objetivo de aumentar las posibilidades de cálculo, en la nueva versión se introduce la opción para que el programa automáticamente chequee qué modelo es posible aplicar dadas las condiciones del sistema en cualquier momento del transiente, tanto para el cálculo de Q_{cri} como de φ .

IV. RESULTADO DE LOS CALCULOS.

El gráfico 1 muestra las variaciones de α y β en función de la presión para un canal refrigerante en la zona activa de un VVER-440 con las siguientes condiciones de trabajo :

Temperatura media del refrigerante ... 280 [°C].

Temperatura de la pared ... 335 [°C].

Longitud del canal ... 2,5 [m].

Gasto del refrigerante ... 2500 [Kg/(m².s)].

La presión varía en un rango entre 10 y 160 [atm].

Con el aumento de la presión entre 10 y 64 atm se observa un aumento de los valores de α dentro del régimen de conversión del vapor.

El aumento de la presión a 68 atm provoca la aparición de la ebullición pelicular, por lo que se puede apreciar una brusca disminución del coeficiente de transferencia de calor.

En el marco de la ebullición pelicular las condiciones de transferencia mejoran proporcionalmente al aumento de la presión, observándose un cambio cualitativo al aparecer el régimen transitorio entre la ebullición desarrollada y la

pelicular a las 120 atm.

El régimen transitorio se mantiene hasta alcanzarse las 135 atm cuando llega a predominar la ebullición por burbujas. Los mayores valores de alfa se registran precisamente durante este régimen de intercambio térmico. A partir de las 140 atm surge la conversión monofásica del agua durante la cual se observan valores altos de alfa aunque algo inferiores a los alcanzados durante la ebullición. La segunda curva del gráfico 1 muestra el aumento de α proporcional a la presión en todo el rango de variación analizado. El gráfico 2 muestra las variaciones de alfa y α en función de la temperatura media del refrigerante en el mismo canal de la ZA. A diferencia del transiente representado en el gráfico 1 aquí la presión permanece constante e igual a 120 atm mientras la temperatura del medio varía en un rango entre 20 y 334 °C. Entre 20 y 328 °C el algoritmo empleado para la determinación de alfa modela el régimen transitorio entre la ebullición desarrollada y pelicular y es independiente a la variación de la temperatura del refrigerante en el rango analizado. Un aumento de alfa se aprecia al alcanzarse la conversión monofásica del vapor a los 330 °C dentro de la

cual el valor de alfa disminuye proporcionalmente con el decrecimiento de la diferencia de temperatura entre la pared y el refrigerante.

La variación de los coeficientes alfa y β son representados en el gráfico 3 en dependencia de la temperatura de la pared del canal en un rango entre 290 y 670 °C. la presión de 120 atm y la temperatura media del refrigerante de 280 °C permanecen constantes durante el análisis.

Con el aumento de la temperatura entre 290 y 320 °C predomina la conversión monofásica del agua, no observándose variación significativa en los valores de los coeficientes analizados.

Una brusca disminución del valor de alfa se observa al aparecer, primero el régimen transitorio entre la ebullición desarrollada y la pelicular y posteriormente el régimen de ebullición pelicular, cuando alcanza la temperatura de la pared los 330 y 340 °C respectivamente.

Un comportamiento similar presenta β durante la aparición de los regímenes antes mencionados.

Dentro del régimen de ebullición pelicular el valor de alfa a diferencia del comportamiento del coeficiente β disminuye proporcionalmente al aumento de la temperatura de la pared

del canal.

En el gráfico 4 se representa la disminución del coeficiente de resistencia hidráulica en función del aumento del gasto a través del canal refrigerante ($p=120$ atm, $t=280$ °C, $t_p=335$ °C) según el modelo homogéneo.

En la literatura [26] y [27] se hace un análisis de la dependencia del coeficiente de transferencia de calor con la temperatura media del refrigerante y con la velocidad másica en el canal medio de la ZA del VVER - 440, empleando las relaciones propuestas por Petrov en [28]. Estos resultados presentan una buena concordancia con los publicados en el trabajo [29].

En las tablas 2 y 3 se realiza una comparación de los resultados mencionados anteriormente con los obtenidos del programa ALFA. Las diferencias existentes son en todos los casos menores al 2%.

V. Conclusiones.

Con el presente trabajo se ha logrado perfeccionar el algoritmo de cálculo del programa ALFA, el cual representa un importante medio de cómputo para los análisis de seguridad.

Se ha logrado eliminar algunas deficiencias encontradas en la versión original, así como ampliar sus posibilidades con la introducción de nuevos modelos y posibilidades de cálculo.

La descripción del algoritmo y de las variables empleadas es de gran utilidad en la confección del manual de la nueva versión del programa DINAMICA que se realiza actualmente.

Las comparaciones realizadas entre los resultados obtenidos con el programa y los reportados en la literatura, demuestran una buena concordancia para los canales promedios de la ZA de los VVER.

VI. RELACION DE SIMBOLOS, SIGLAS, ABREVIATURAS Y SUBINDICES.

Abreviaturas y siglas.

CEN ... Central Electro-Nuclear.

CIT ... Crisis de Intercambio Térmico.

UP ... Unidad de Programa.

VVER ... Tipo de reactor energético soviético moderado y refrigerado por agua.

ZA ... Zona Activa.

Subíndices.

c ... Conversión.

ca ... Conversión del agua.

cond ... Condensación.

cri ... Relativo a la CIT.

cv ... Conversión del vapor.

ep ... Ebullición pelicular.

esf ... Esferoidal.

p ... Referente a la pared del canal.

ref ... Refrigerante.

sat ... Saturación.

Símbolos.

C ... COMMON (Pertenece a una región Común de memoria).

CH ... CHARACTER (Variable de carácter).

dh ... diámetro hidráulico [m].

E ... Escrito (Su valor es escrito por el programa).

F ... Función.

i ... Entalpía del medio [Kcal/Kg].

i' ... Entalpía del medio en la curva inferior de saturación [Kcal/Kg].

i'' ... Entalpía del medio en la curva superior de saturación [Kcal/Kg].

L ... Leído (Su valor es leído por el programa).

p ... Presión [atm].

PE ... Parámetro de Entrada del programa.

PS ... Parámetro de Salida del programa.

Q ... Flujo térmico [Kcal/(s.m²)].

t ... Temperatura [°C].

w ... Velocidad [m/s].

v ... Volúmen específico del medio [m³/Kg].

v'' ... Volúmen específico del medio en la curva superior de

saturación $[m^3/Kg]$.

v' ... Volúmen específico del medio en la curva inferior de saturación $[m^3/Kg]$.

x ... Calidad.

α ... Coeficiente de transferencia del calor $[Kcal/(s.m^2.^{\circ}C)]$.

λ ... Coeficiente de resistencia hidráulica por rozamiento.

Φ ... Coeficiente de conductividad térmica $[Kcal/(s.m.^{\circ}C)]$.

μ ... Viscosidad dinámica $[Kg/(s.m)]$.

VII. Literatura.

- [1]. DYNAMIKA 83 Vypočetový program pre analizu prevádzkových a havarijných procesov bloku JE s VVER. November 1983.
- [2]. Mijejev M. A., Mijejeva I. M., "Osnovi Tieploperedachi", M., "Energija", 1973.
- [3]. Skripov V. P., Pavlov P. A., Sinitsin E. N., "Tieplofizika visokij temperatur", T.3,1,5, 1965.
- [4]. Temp. Leindenfrost. EUR-10538d. E3200 1987.
- [5]. Kutatelagze S. S., Borishanskiy V. M., "Spravochnik Teploperedache", M. L. GEM, 1959.
- [6]. Miropolskiy Z. L. "Tieploenergetika", 5, 1963.
- [7]. Isachenko V. P., Osipova V. A., Sukomel A. C., "Tieploperedacha", M., L., "Energija", 1965.
- [8]. Andreevskiy A. A., Borishanskiy V. M. "Sostoianie i perspektivi proektirovaniia parogeneratorov AES s vodo - vodianimi reaktorami", Trudi TSKTI, bip. 108, 1971.
- [9]. EPRI-NF-2511-CCM-VOL 2 1985. A thermal hydraulic code for reactor cores.
- [10]. Smolin V. I., Foliakov V. K. "Tieploenergetika", 4, 1967.

- [11]. Miropolskiy Yz. L. "Teploenergetika", 7, 1969.
- [12]. Tong L. S., Curfin H. B., Thorp A. O., "Nucleonics", v 21, 5 1963.
- [13]. Tong L. S. "I. Nucl. Energy", 21, 3 1967.
- [14]. Issledovaniye kriticheskij teplovoj nagruzok v puchkaj sterzhney primenitelno k rabochim usloviam reaktora, 213-0-320, GKAE, M., 1974.
- [15]. Bezrukov Ju. A., Astajov V. I. " Eksperimentalnie issledovaniya i staticheskij analiz dannij po krizisu teploobmena v puchkaj sterzhney dlia reaktora VVER".
- [16]. "O paschiotie kriticheskij teplovoj nagruzok v puchkaj sterzhney". IAE-2204, M., 1972.
- [17]. Tong L. S. "Nucl. Eng. and Ing." 5 1967.
- [18]. Idielchik I. E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniam, M., GEI, 1961.
- [19]. Tarasova N. V. Trudi TSKTI, vip. 59, 1965, S.47.
- [20]. Osmachkin V. S., Borisov B. D. "Gidravlicheskoje soprotivlenie puchkov teplovidieliaushchij stierzhney v potokie kipiashchey vodi". Preprint IAE - 1957, M., 1971.
- [21]. Martinelli R. C., Nelson D. B., "Trans. ASME", V.70, p. 695, 1948.

- [22] Baker O. "Oil and Gas Journ". v. 53, 12, p.185, 1954.
- [23]. Vagrattik N. B. "Teplofizicheskie svoystva veshchestv". M.GEL. 1956.
- [24]. Vokalovich M. F., Rlokin B. L., Aleksandrov A. A. "Tablitsi teplofizicheskij svoistv vody y vodianogo para". M., Izdatelstvo standartov, 1969.
- [25]. Vagrattik N. B. "Spravochnik po teplofizicheskim svoistvam gazov y zhidkostey". M. Gos. izd-vo fiz. mat. literaturi, 1963.
- [26]. Hermansky, B. "Termomechanika reaktoru". CVUT, FJFI, Praha 1983.
- [27]. Hermansky, B. "Prestup tepla a kriticky tepelny tok v reaktorech typu VVER. Vyzk. zpr. ve spolupráci s VUJE, 1979.
- [28]. Petrov, F. A. Jaderne elektrárny. Praha 1961.
- [29]. Provozni režimy vodo-vodních energetických jaderných reaktoru, UISTP, Zbraslav, SNTL, Praha 1980.

VIII. GRAFICOS Y TABLAS.

TABLA 1. Descripción de las variables por unidad de programa.

1..Nombre de la UP. (Tipo de UP).			Significado.
#	Variante (Tipo)	PE/FS/ L/E/C	
1:ALFA (F)			
1	A		Coeficiente en la fórmula de Borishansko para el cálculo de alfa.
2	ACP		Variable aux. para el cálculo de Q_{cri} por el modelo de OSNACHKIN.
3	ALAM		Coeficiente de conductividad térmica del medio para el cálculo de alfa.
4	ALFA		Coef. de transferencia de calor (alfa) [Kcal/(s.º².K)].
5	ALFAESJL		Coef. de transferencia de calor (alfa) [Kcal/(s.º².K)]. ebullición superficial (alfa) [Kcal/(s.º².K)].
6	ALFAESTO		Coef. de transferencia de calor (alfa) [Kcal/(s.º².K)]. ebullición superficial (alfa) [Kcal/(s.º².K)].
7	AL1		Coeficiente en la fórmula de Borishansko para el cálculo de alfa.
8	AMU		Coeficiente de viscosidad dinámica [Kg/(s.º)].
9	ATPR		Variable aux. para el cálculo de Q_{cri} por el modelo de OSNACHKIN.

TABLA 1. (Continuación).

#. Nombre de la UP. (Tipo de UP).			Significado.
#	Variable (Tipo)	PE/PS/ L/E/C	
10	B		Coeficiente en la fórmula de Borishansko para el cálculo de alfa.
11	DG	PE	Diámetro hidráulico (dh) [m].
12	DL	PE	Longitud del canal [m].
13	DT		Diferencia de temperatura (tp - t) [°C].
14	EI	PE	Entalpía del medio (i) [Kcal/Kg].
15	EII1		Entalpía del medio para la presión P en la curva inferior de saturación [Kcal/Kg]. (Se calcula por interpolación con los valores de EI1 y PS).
16	EII2		Entalpía del medio para la presión P en la curva superior de saturación [Kcal/Kg]. (Se calcula por interpolación con los valores de EI2 y PS).
17	EIOS		Coef. en la fórmula de OSMACHKIN para el cálculo de ϕ .
18	EIOS1		Coef. en la fórmula de OSMACHKIN para el cálculo de ϕ .
19	EIT		Coef. en la fórmula de TARASOVA para el cálculo de ϕ .
20	EI1(14)	C	Entalpía del agua para las presiones PS(14) en la curva inferior de saturación [Kcal/Kg].
21	EI2(14)	C	Entalpía del agua para las presiones PS(14) en la curva superior de saturación [Kcal/Kg].
22	EI3 (14,38)	C	Entalpía del agua para las presiones PS(14) y las temperaturas T3(38) [Kcal/Kg].

TABLA 1. (Continuación).

#. Nombre de la UP. (Tipo de UP).			Significado.
#	Variable (Tipo)	PE/PS/ L/E/C	
23	FI		Coef. en la fórmula de TARASOVA para el cálculo de ϕ .
24	G	PE	Velocidad másica del medio [Kg/(m ² .s)].
25	GS		Valor absoluto de la velocidad másica [Kg/(m ² .s)].
26	GSV		Coeficiente en la fórmula de Borishansko para el cálculo de alfa.
27	I		Variable aux. para buscar los elementos de PA y VAPA.
28	ITER(30)	C	Parámetro de control para la impresión.
29	J		Variable aux. para buscar los elementos de PA y VAPA.
30	K	PE/PS	-Como PE es el # del elemento del arreglo PS para iniciar la búsqueda de los elementos que cumplan que : PS(K) \leq P < PS(K+1). -Identifica los elementos de los arreglos de la tabla.
31	MODQKR (CH)	PE/PS	Define el modelo de cálculo de Ocni : NING.. Búsqueda automática del modelo. SM .. SMOLIN. OS .. OSMACHKIN. VE .. VEJRUKOV. NI .. NIRAPOLSKY. TO .. TONG.

TABLA 1. (Continuación).

#. Nombre de la UP. (Tipo de UP).			Significado.
#	Variable (Tipo)	PE/PS/ L/E/C	
32	MODTRKSI (CH)		Define el modelo de cálculo de ϕ : NING.. Búsqueda automática del modelo. NO .. No se calcula ϕ . HO .. HOMOGENEO. OS .. OSMACHKIN. TA .. TARASOVA. MN .. MARTINELLI-NELSON.
33	MODALF (CH)	C	Define el modelo de cálculo de alfa : NING.. Búsqueda automática del modelo. CAS .. Conversión del agua saturada. CA .. Conversión del agua. CV .. Conversión del vapor. COND.. Condensación. EPM .. Ebullición Pelicular MIRAPOLSKY. EPNM.. Ebullición Pelicular no MIRAPOLSKY. BO .. Borishansko. TH .. THOM ebullición superficial. JL .. JENS-LOTTE ebullición superficial. TDP .. Transitorio ebullición Desarrollada-Pelicular.
34	N1		# de modelos para el cálculo de Q_{crit} .
35	N2		# de parámetros que se chequean al elegir el modelo de cálculo de Q_{crit} .
36	N3		# del modelo escogido para el cálculo de Q_{crit} .
37	P	PE	Presión (P) [atm].
38	PA(N2)		Valor de los parámetros en el estado chequeado. PA(1)=P, PA(2)=GS, PA(3)=X

TABLA 1. (Continuación).

N. Nombre de la UP. (Tipo de UP).			Significado.
N	Variable (T po)	PE/PS/ L/E/C	
39	PHSTA		Coef. en la fórmula de OSMACHKIN para el cálculo de Q_{cri} .
40	PRPER	PE	Determina si se considera ($=0$) o no el régimen transitorio entre la ebullición pelicular y la desarrollada.
41	PR1	PE	Determina si se considera o no la crisis de intercambio térmico ($=-1$ no se considera, $=0$ se considera, 1 existe).
42	PR2	PE	Si $=0$ no se considera la crisis por el valor de X_{cri} y si no, es el coeficiente de Daroshik (0.7 haz de tubos, 1 tubo)
43	PS(14)	C	Valores de presión de la tabla de las prop. termod. [atm]
44	PSATPI		Presión de saturación por interpolación de P y i [atm].
45	PSI		Coef. en las fórmulas de DS y MN para el cálculo de ϕ .
46	Q	C	Flujo térmico [Kcal/(m ² .s)].
47	QESJL		Flujo térmico por la fórmula de Jens-Lottes [Kcal/(s.m ²)]
48	QESTO		Flujo térmico por la fórmula de Tong [Kcal/(s.m ²)].
49	QKR	C	Flujo térmico crítico [Kcal/(m ² .s)].
50	RE		# de Reynolds (Re).
51	SALCRI		$=1$ si continuamos en la crisis de intercambio térmico. $=0$ si pasamos de la crisis a la ebullición desarrollada.
52	SIGMA		Coef. en la fórmula de OSMACHKIN para el cálculo de Q_{cri} .
53	T	PE	Temperatura del medio [°C].

TABLA 1. (Continuación).

#. Nombre de la UP. (Tipo de UP).			Significado.
#	Variable (Tipo)	PE/PS/ L/E/C	
54	TK		Temp. de referencia para el cálculo de α_{fvc} [K]. Temperatura de referencia para el cálculo de α_{f} [K]. tdp
55	TRKSI	PS	Coefficiente de resistencia hidráulica por rozamiento μ .
56	TS(14)	C	Temperatura de saturación para las presiones PS(14) [°C].
57	TSS		Temperatura de saturación del medio a la presión P [°C].
58	TST	PE	Temperatura de la pared del canal [°C].
59	T3(38)	C	Valores de temp. en la tabla de las prop. termodin. [°C].
60	V	PE	Volumen específico del medio [m ³ /Kg].
61	VAPA(N1, 2,N2)	PE	Valores límites de los parámetros chequeados. Valores límites de los 3 parámetros chequeados (PA(3)) para el cálculo de Q_{cri} en cada modelo (ver MODQKR).
62	VK		Volumen específico de referencia para el cálculo de α_{fvc} [m ³ /Kg]. Volumen específico de referencia para el cálculo de α_{fatdp} [m ³ /Kg].
63	VV1		Volumen específico del medio para la presión PS en la curva inferior de saturación [m ³ /Kg]. (Se calcula por interpolación con los valores de V1 y PS).

TABLA 1. (Continuación).

#. Nombre de la UP. (Tipo de UP).			Significado.
#	Variable (Tipo)	PE/PS/ L/E/C	
64	V2		Volumen específico del medio para la presión PS en la curva superior de saturación [m ³ /Kg]. (Se calcula por interpolación con los valores de V2 y PS).
65	V1(14)	C	Volumen específico del medio para las presiones PS en la en la curva inferior de saturación [m ³ /Kg]. Arreglo de la tabla de las propiedades termodinámicas.
66	V2(14)	C	Volumen específico del medio para las presiones PS en la en la curva superior de saturación [m ³ /Kg]. Arreglo de la tabla de las propiedades termodinámicas.
67	V3 (14,38)	C	Volumen específico del medio para las presiones PS y las temperaturas T3 [m ³ /Kg]. Arreglo de la tabla de las propiedades termodinámicas.
68	X		-Calidad $(i - i'(p)) / (i''(p) - i'(p))$. -Variable aux. para el cálculo por interpolación lineal de $i'(p), v'(p), i''(p), v''(p)$ y $ts(p)$. $(P - PS(K)) / (PS(K+1) - PS(K))$.
69	XKR		Calidad crítica por la fórmula de DAROSHIK:
70	XDS		Coef. en la fórmula de OSNACHKIN para el cálculo de ϕ .
71	XTT		Coef. en las fórmulas de MN para el cálculo de ϕ .
72	Z		Coef. en la fórmula de TARASOVA para el cálculo de ϕ . Coef. en la fórmula de Borishansko para el cálc. de alfa.
73	ZAPAS	PS	Reserva hasta la crisis de transferencia de calor.

TABLA 1. (Continuación).

1. Nombre de la UP. (Tipo de UP).			Significado.	
#	Variable (Tipo)	PE/PS/ L/E/C		
2.ALAMA (F)			Coeficiente de conductividad térmica del agua. (a). [Kcal/(s.º.º.C)]. [4].	
1	ALAMA			
2	P	PE		Presión (P) [atº].
3	T	PE		Temperatura del medio [ºC].
4	V	PE		Volumen específico del medio [Kg/m³].
3.ALARV (F)			Coeficiente de conductividad térmica del vapor de agua. (v). [Kcal/(s.º.º.C)]. [4].	
1	ALARV			
2	P	PE		Presión (P) [atº].
3	TK	PE		Temperatura de referencia para el cálculo de v. [K].
4	VK	PE		Volumen específico de referencia para el cálculo de v [m³/Kg].
4.ALFAC (F)			Coeficiente de conductividad térmica del medio para el cálculo de alfac [Kcal/(s.º.º.C)]. [4].	
1	ALAMA			
2	ALFAC		Coeficiente de transferencia de calor en régimen convectivo (alfac) [Kcal/(s.º².K)].	

TABLA 1. (Continuación).

#. Nombre de la UP. (Tipo de UP).			Significado.
#	Variable (Tipo)	PE/PS/ L/E/C	
3	DS	PE	Diámetro hidráulico (dh). [m].
4	PR	PE	φ de Prantl.
5	RE	PE	φ de Reínols.
4.ALFAEP (F)			
1	A		Variable aux. para el cálculo de alfaep por MIRAPOLSKY, A=1 para X>0, A=0 para X<0.
2	ALAMV		Coficiente de conductividad térmica del vapor de agua (φv) para TK, VK y P [Kcal/(s.m².C)].
3	ALFAEP		Coficiente de transferencia de calor en régimen de ebullición pelicular (alfaep) [Kcal/(s.m².C)].
4	AMU		Coficiente de viscosidad dinámica del vapor para la presión P, temperatura TK y el vol. esp. VK [Kg/(s.m)].
5	DS	PE	Diámetro hidráulico (dh) [m].
6	GS	PE	Valor absoluto de la velocidad crítica [Kg/(m².s)].
7	L		Variable aux. para el cálculo de alfaep. L=2 si cumple el modelo de MIRAPOLSKY.

TABLA 1. (Continuación).

#. Nombre de la UP. (Tipo de UP).			Significado.
#	Variable (Tipo)	PE/PS/ L/E/C	
8	MODALF (CH)	C	Define el modelo de cálculo de alfa : NING.. Búsqueda automática del modelo. CAS .. Conversión del agua saturada. CA .. Conversión del agua.. CV .. Conversión del vapor. COND.. Condensación. EPM .. Ebullición Pelicular MIRAPOLSKY. EPNM.. Ebullición Pelicular no MIRAPOLSKY. BD .. Borishansko. TH .. THOM ebullición superficial. JL .. JENS-LOTTE ebullición superficial. TDP .. Transitorio ebullición Desarrollada-Pelicular.
9	P	PE	Presión (P) [atm].
10	PR		φ de Pranti.
11	RE	PS	φ de Reinals.
12	TK		Temp. de referencia para el cálculo de alfaep [K].
13	TST	PE	Temperatura de la pared del canal [°C].
14	TSS	PE	Temperatura de saturación del medio a la presión P [°C].
15	VK		Volumen espec. de referencia para el cálculo de alfaep [m ³ /Kg].
16	VV1	PE	Volumen específico del medio para la presión P en la curva inferior de saturación [m ³ /Kg].
17	VV2	PE	Volumen específico del medio para la presión P en la curva superior de saturación [m ³ /Kg].

TABLA 1. (Continuación).

4. Nombre de la UP. (Tipo de UP).			Significado.
8	Variable (Tipo)	PE/PS/ L/E/C	
10	X	PE	Calidad.
6. AMUA (F).			
1	A	PE	Presión de saturación a la temperatura t [atm].
2	AMUA		Coeficiente de viscosidad dinámica del agua para la presión P, temperatura t' y la pres. de sat. A [Kg/(s.m)].
3	P	PE	Presión (P) [atm].
4	T	PE	Temperatura del medio [°C].
7. AMUV (F).			
1	AMUV		Coeficiente de viscosidad dinámica del vapor para la presión P, temperatura TK y el vol. esp. VK [Kg/(s.m)].
2	P	PE	Presión (P) [atm].
3	TK	PE	Temperatura de referencia para el cálculo de AMUV [K].
4	VK	PE	Volumen esp. de referencia para el cálculo de AMUV [Kg/m ³].
8. CPV (F).			
1	CPV		Calor específico del vapor a presión constante (Cpv) [Kcal/(Kg.°C)].
2	P	PE	Presión (P) [atm].
3	TAUP		Variable auxiliar en la fórmula para el cálculo de Cpv.

4	TK	PE	Temperatura de referencia para el cálculo de C_{pv} [K].
9.PRA (F).			Presión [atm].
1	P	PE	
2	PRA		θ de Prantl del agua.
3	T	PE	Temperatura del medio [°C].

Si el tipo de la variable no es especificada
explicitamente, este responde al convenio estandar del
FORTRAN por la primera letra del nombre de la variable.

TABLA 2. Comparación de la dependencia de alfa vs t^{ref} en un canal medio de la ZA del VVER - 440 (velocidad másica=2592,5 Kg/(m².s) ; dh=10 mm ; p=120,4 atm) entre los resultados obtenidos con el programa ALFA y los reportados en [26] y [27]

t (°C) ref	alfa Kcal/(m ² .s.°C) [26] y [27]	alfa Kcal/(m ² .s.°C) ALFA	Diferencia. %
260	6,20	6,25	0,8
280	6,39	6,42	0,5
300	6,62	6,69	1,0
320	6,84	6,86	0,3
340	7,05	7,13	1,1
360	7,30	7,34	0,5

TABLA 3. Comparación de la dependencia de alfa vs veloc. másica en un canal medio de la IA del VVER - 440 (dh= 10 mm; p = 120,4 atm; t =285 °C) entre los resultados obtenidos con el programa ALFA y los reportados en [26] y [27].

Velocidad másica, Kg/(m ² .s)	alfa Kcal/(m ² .s.°C) [26] y [27]	alfa Kcal/(m ² .s.°C) ALFA	Dif.
1000	2,91	2,92	0,3
2000	5,37	5,42	0,9
3000	7,39	7,48	1,2
4000	9,16	9,18	0,2

Grafico 1. Variacion de alfa y del crh vs presion.

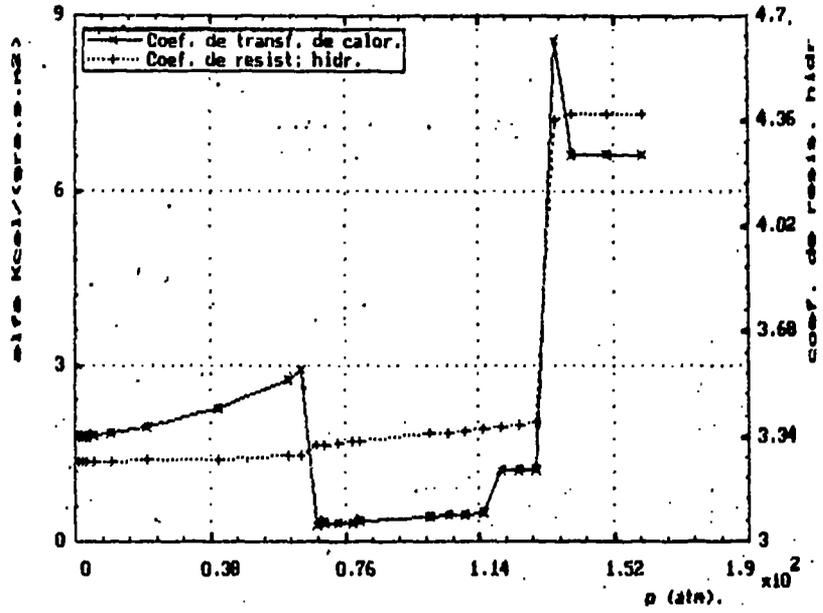


Grafico 2. Variac. de alfa y crh vs temp. del refr.

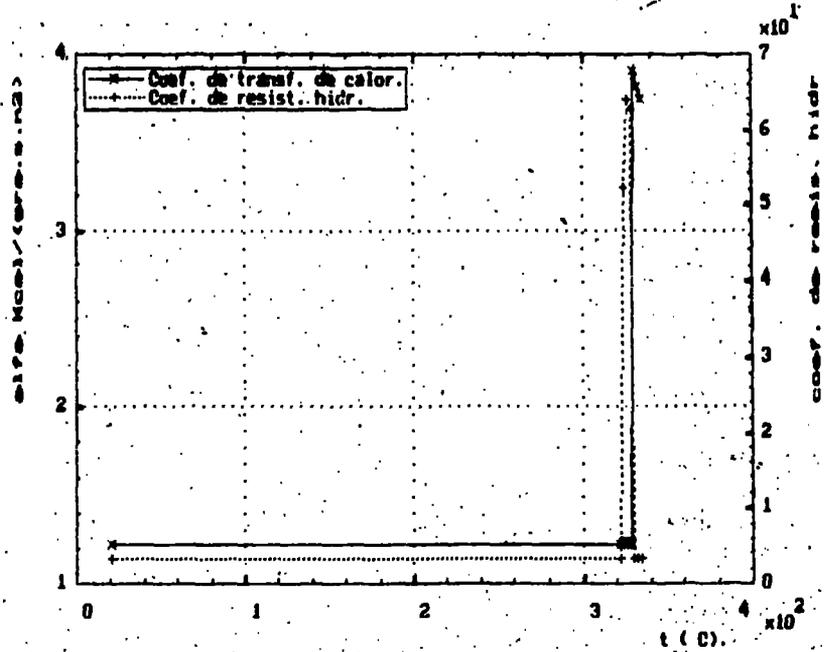


Grafico 3. Var. de alfa y crh vs temp. de la pared.

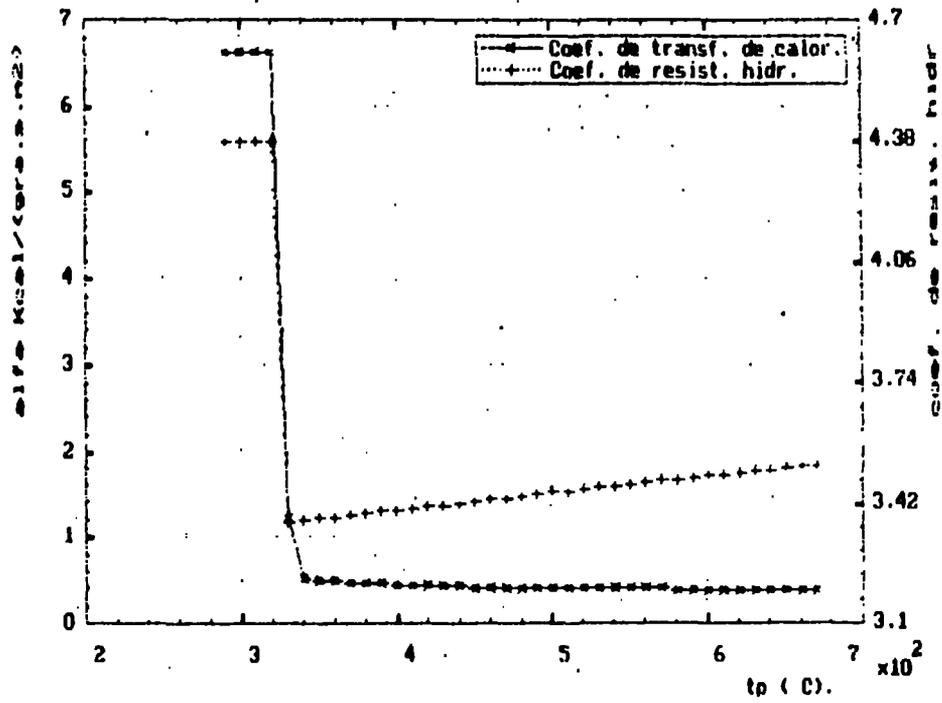
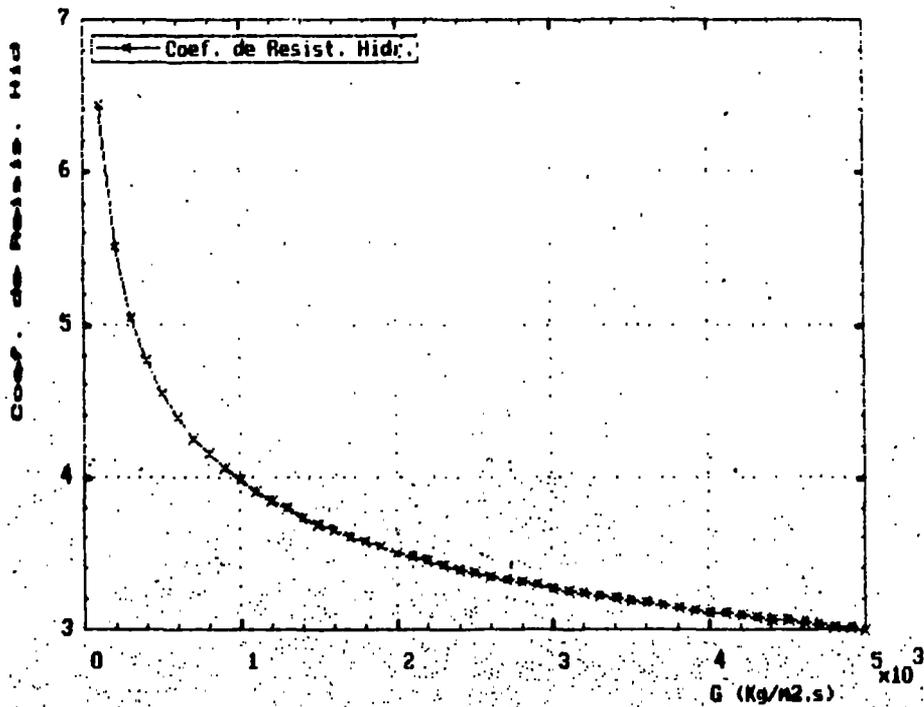


Grafico 4. Var. del coef. de resist. hidr. vs gasto.



Impreso en el Centro de Información de la
Energía Nuclear, La Habana, Cuba, octubre
de 1992.