

24.602

376294



1370

memoria descriptiva

SECCION TECNICA

CLASIFICACION P.C.

CLASE G 21

SUBCLAS. d

CLASE DE
REGISTRO

PATENTE DE INVENCION

NOMBRE Y
NACIONA-
LIDAD DEL
SOLICITANTE

General Electric Company

-USA-

RESIDENCIA
Y DOMICILIO

New York, N.Y. 100.16 -USA-
Madison Avenue 159

OBJETO

Disposición de elemento de combustible para un reactor nuclear.



376294

1
5
10
15
20
25
30

La liberación de grandes cantidades de energía, por medio de reacciones de fisión nuclear, es bien conocida. En breve, un átomo fisil, tal como U-235, absorbe un neutrón en su núcleo y experimenta una desintegración nuclear, que produce, como promedio, dos productos de fisión, de peso atómico inferior, con gran energía cinética y varios neutrones también de alta energía. La energía es disipada como calor en los elementos de combustible del reactor. Este calor puede ser alejado haciendo pasar un refrigerante, en relación de intercambio térmico, con el combustible, y el calor puede ser extraído del refrigerante para realizar trabajos útiles.

Si un reactor nuclear debe funcionar a nivel de energía de estado constante, la población de neutrones, que induce a fisión, tiene que permanecer constante. Esto es, que cada fisión tiene que producir una red de neutrón, que induce una fisión subsiguiente, de modo que la reacción de fisión es auto-sostenida. Así, para funcionamiento de estado constante del sistema reactor, la proporción de reproducción de neutrones o factor de multiplicación efectivo K_{eff} (definido como la proporción de la población de neutrones en un tiempo de duración de neutrones finitos más temprano) tiene que estar en la unidad, mientras que el sistema se dice que es "justamente crítico".

Un combustible de energía nuclear, utilizado comúnmente, incluye materiales fértiles, tales como U-238 en adición a los átomos fisiles. Sin embargo, en un reactor tér-



376294

- 2.-

1
mico (un reactor en que la mayoría de las fisiones son cau-
sadas por neutrones térmicos) el régimen de producción de
átomos fisiles es menor que el grado de consumo de átomos
5 fisiles. Así, cuando prosigue la reacción en cadena de neu-
trones-fisión, el combustible nuclear se agota, es decir que
el número de átomos de material fisil disminuye. En adición,
alguno de los productos de fisión, tales como xenon y sama-
rio son absorbedores de neutrones o "tóxicos". Así, si el
10 reactor debe tener una duración razonable de generación de
energía, el núcleo de combustible tiene que incluir un exce-
so inicial de reactividad. El exceso de reactividad puede
ser definido como la cantidad por la que el factor de multi-
plicación incontrolado excede de la unidad. Este exceso de
15 reactividad requiere un sistema de control de suficiente
fuerza para mantener el factor de multiplicación efectivo a
la unidad, mediante el funcionamiento del reactor. El sis-
tema de control habitualmente comprende materiales absorben-
tes de neutrones o tóxicos, que sirven para controlar la po-
20 blación de neutrones, por absorción de no fisión o captura
de neutrón. Típicamente, el sistema de control incluye con-
trol mecánico, en forma de una pluralidad de barras de con-
trol, selectivamente accionables, conteniendo tóxicos o se-
mejantes, que puedan insertarse y retirarse respecto al nú-
cleo según se requiera.
25

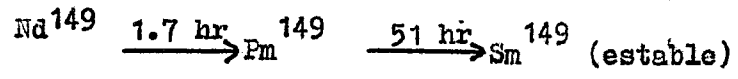
Como se menciona arriba, algunos de los productos
de fisión son absorbedores de neutrones o tóxicos. Entre
estos son notables el núclido samario-149. Por ejemplo, los
átomos de Sm-149 están formados en alrededor de 1,4% de las



376294

1
5
10
15
20
25
30

fisiones de U-235 por la siguiente cadena de agotamiento β :



El Sm-149 es un fuerte tóxico de neutrones, a causa de su alta sección transversal de captura de neutrones. Sm-149 absorbe un neutrón para convertirse en Sm-150, teniendo este último una sección transversal de captura de neutrones relativamente baja.

Puesto que Sm-149 es estable, establecerá en el reactor, en un tiempo relativamente breve, tal como en pocas semanas, una concentración de equilibrio, en que el régimen de producción es igual al régimen de consumo. El núcleo de combustible por ello tiene que incluir un exceso de material fisil, no solo para compensar el agotamiento del combustible, sino también para procurar un exceso adicional de reactividad para compensar el efecto tóxico de la concentración de equilibrio de Sm-149. Para un ciclo típico de combustible, en que la máxima reactividad ocurre al comienzo del ciclo con combustible fresco, el sistema de control tiene que procurar fuerza de control adicional para anular esta reactividad adicional durante el breve tiempo requerido para alcanzar la concentración de equilibrio Sm-149. Se encuentra costoso y despilfarrador el procurar esta fuerza de control adicional en el sistema de control mecánico y se ha propuesto incluir un tóxico quemable en el núcleo para este fin.

En adición al problema del desarrollo de Sm-149, otro problema en el diseño de un núcleo de reactor se presenta por el hecho de que la fuerza de control en el sistema



376294

- 4. -

1 de control se incrementa desde la condición de cierre en
frio a la condición funcional caliente del reactor. En
efectos prácticos esto significa que la fuerza de control
5 total requerida está determinada por las necesidades de cie-
rre en frío y con un margen, mientras que la fuerza de con-
trol es mayor que la requerida para la condición de funcio-
namiento en caliente. Este precepto es debido principalmen-
te al incremento en longitud de difusión de neutrones con
10 la densidad disminuida del moderador y la sección transver-
sal de absorción disminuida del combustible desde la condi-
ción fría a la caliente. En otras palabras, en la condición
caliente, los neutrones viajan más lejos antes de ser absor-
bidos, y, por lo tanto, la probabilidad de captura por el tó-
xico del sistema de control se incrementa. Así, este efecto
15 crea un problema en el balance entre el control de reactivi-
dad requerido para cubrir el margen de cierre en frío y la
cantidad de control de reactividad, que tiene que eliminarse
para conseguir la reactividad de funcionamiento en calien-
te, requerida para funcionamiento de plena energía. Este
20 problema es especialmente importante en un núcleo de reac-
tor, en que un tanto por ciento relativamente grande de la
fuerza de control se procura por un sistema de tóxico que-
mable, autoblandable fijo.

25 Los objetos del invento se alcanzan por utilizar
un tóxico quemable diluido o no autoblandado, que tiene una
sección transversal de absorción dependiente de energía, que
disminuye más rápidamente que $1/v$ con energía de neutrones
incrementada, para proporcionar la fuerza de control necesaria
30



376294

- 5. -

1 para compensar la falta inicial de Sm-149 en el núcleo Ga-
dolinio que es un tóxico quemable, adecuado para este obje-
to, y su uso, de acuerdo con el invento, efectivamente pue-
5 de procurar un incremento más que una disminución en el mar-
gen de cierre en frío, o bien, alternativamente, un incre-
mento en la reactividad de funcionamiento en caliente.

El invento se describe más específicamente a con-
tinuación con referencia al dibujo adjunto en que:

10 la fig. 1 es una vista en alzado de un conjunto
típico de combustible,

la fig. es una vista en planta de un conjunto de
combustible;

15 la fig. 3 ilustra las secciones transversales mi-
croscópicas, dependientes de energía térmica de uranio, sa-
mario y gadolinio;

la fig. 4 muestra la fuerza de control frente a
curvas de tiempo de funcionamiento, comparando el uso de
samario y gadolinio por compensación de samario;

20 la fig. 5 ilustra el desarrollo de la intoxica-
ción de xenon, y

la fig. 6 - 8 son curvas de constante de multipli-
cación efectiva k_{eff} frente a aplicaciones ilustrativas de
exposición del presente invento.

25 En los dibujos, las letras tienen el siguiente
significado:

A = sección transversal total (BARNs); B = ener-
gía de neutrones (electrón-voltios); C = fuerza de control
30 ΔK_p (por ciento); D = días de funcionamiento a plena po-



376294

- 6. -

1 tencia ($\phi \approx 2,5 \times 10^{13}$ neutrones/cm²-seg); E = fuerza de
control en caliente ΔK_p (por ciento); F = días de funcio-
namiento a plena potencia; ($\phi = 2,5 \times 10^{13}$ neutrones/cm² seg.)

5 G = caliente no intoxicado; H = intoxicado en caliente;
I = margen caliente; J = margen frío; K = controlado en
frío, y L = exposición MWD/T.

Aunque no se limita a ello, el presente invento
es adaptable para el uso de un reactor refrigerado con flui-
do y moderado por el mismo. En un ciclo conocido de reac-
tor de agua, por ejemplo, como el que se usa en la estación
de energía nuclear de Dresden, cerca de Chicago, Illinois,
el núcleo del reactor es del tipo heterogéneo, es decir que
el combustible está en la forma de barras alargadas revesti-
das. Estas barras o elementos de combustible están agrupa-
dos y contenidos en canales de flujo tubulares, de extremo
abierto, para formar conjuntos de combustible o haces sepa-
rables individualmente. Un número suficiente de conjuntos
de combustible están dispuestos en matriz, aproximándose a
un cilindro circular recto, para formar el núcleo del reac-
tor nuclear, capaz de reacción de fisión auto-sostenida.
El núcleo está sumergido en un fluido, tal como agua ligera,
que sirve, tanto como refrigerante, así como de moderador
de neutrones. El sistema de control incluye control mecáni-
co, en la forma de una pluralidad de barras de control, con-
teniendo material absorbente de neutrones, que son selecti-
vamente intercambiables entre los conjuntos de combustible
para controlar la reactividad del núcleo.



376294

- 7. -

1 El conjunto típico 10 está ilustrado en una vista
de alzado en la fig. 1. El conjunto de combustible 10 com-
prende un canal 11 de flujo tubular de la sección transver-
5 sal cuadrada, conteniendo, por ejemplo, una disposición de
6 x 6 de elementos de combustible espaciados, o barras 12,
soportadas entre placas de riostra 13 y 14 superior e infe-
rior. Una prominencia 16 está provista de aberturas 17, a
través de las cuales el refrigerante es recibido para fluir
10 hacia arriba pasando por los elementos de combustible. Los
elementos de combustible 12 suelen estar formados de un tu-
bo conteniendo una pluralidad de pastillas cilíndricas de
combustible. Típicamente el combustible está en la forma
de un óxido, tal como dióxido de uranio UO_2 .

15 El conjunto de combustible 10 está ilustrado en
vista en planta esquemática en la figura 2, junto con una
barra de control 18 de forma cruciforme. Algunas de las
barras de combustible, tal como las barras de combustible
20 12' (con la leyenda bp), pueden contener tóxico quemable
autoblindado para equilibrar la reactividad del exceso de
combustible, previsto en el núcleo para compensar el agota-
miento del combustible durante el ciclo de combustible. De
acuerdo con el presente invento, un tóxico quemable diluido
25 está previsto para compensar la falta inicial de Sm-149 en
el núcleo. (Por diluido se entiende que la densidad y dis-
tribución de tóxico quemable es tal que el tóxico no es sus-
tancialmente autoblindable). Este tóxico quemable compensa-
dor de samario puede estar uniformemente distribuido a tra-
vés del combustible nuevo o, ventajosamente desde el punto
30



376294

- 8.-

1 de vista de fabricación, el tóxico quemable compensador de
samarico, tal como Gd, puede estar contenido en una o varias
de las barras de combustible, por ejemplo, en las barras de
combustible 12", de una pluralidad seleccionada de los nue-
5 vos conjuntos de combustible del núcleo.

Abreviando, el régimen de formación de Sm-149 es
una función del régimen de fisión. El número de átomos Sm-
149, presentes en el núcleo en cualquier tiempo dado, es
10 igual al número de átomos de Sm-149 formados, menos el número
de átomos Sm-149 eliminados por captura de neutrones. Así,
el régimen de desarrollo de Sm-149 es dado por la siguiente
relación:

15 (1)
$$\frac{dN_{Sm}}{dt} = Y \sigma_f^f N_f \phi - c_{SM} N_{Sm} \phi .$$

donde:

Y es el rendimiento fraccional de átomos de Sm-149
por fisión del combustible,

20 σ_f^f es la sección transversal microscópica de
fisión del combustible (barns),

N_f es la concentración de átomos de combustible
(átomos/cm³),

ϕ es el flujo de neutrones térmicos (neutrones/
cm²-seg).

25 σ_c^{Sm} es la sección transversal microscópica de cap-
tura de Sm-149 (barns), y

N_{Sm} es la concentración de átomos de Sm-149 (áto-
mos/cm³).

En equilibrio, el régimen de formación y el régi-

30



men de consumo de Sm-149 son iguales. Así en equilibrio:

$$(2) \quad \sigma_c^{Sm} N_{Sm} \Phi = Y \sigma_f^f \Phi$$

(Se observa que el equilibrio de concentración de Sm-149 es independiente del flujo Φ ; sin embargo, el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio es dependiente del flujo y es igual a alrededor de $5/\sigma_c^{Sm} \Phi$ segundos).

En equilibrio, la proporción del número de átomos de Sm-149 respecto a los átomos de combustible es igual a la proporción de concentraciones, así de (2):

$$(3) \quad \frac{\text{Sm-149 átomos}}{\text{átomos de combustible}} = \frac{N_{Sm}}{N_f} = Y \frac{f}{\sigma_c^{Sm}}$$

La fuerza de control Δk_p de un tóxico es proporcional a su sección transversal macroscópica Σ que es el producto $N\sigma$ de su concentración y la sección transversal microscópica. Así, en general, el tóxico quemable, que es usado para compensar la falta de Sm-149 en nuevo combustible, es seleccionado para procurar una sección transversal macroscópica de la concentración de equilibrio de Sm-149. Así, para una fuerza de control equivalente al equilibrio de Sm-149:

$$(4) \quad \Sigma^{bp} = \Sigma^{Sm} = N_c^{bp} \sigma_c^{bp} = N_c^{Sm} \sigma_c^{Sm}$$

en que

Σ^{bp} es la sección transversal macroscópica del tóxico quemable seleccionado (cm^{-1}),

Σ^{Sm} es la sección transversal macroscópica del equilibrio Sm-149 (cm^{-1}), y



376294

- 10.-

5 1970

1

σ_c^{bp} es la sección transversal de captura macroscópica del tóxico quemable seleccionado (barns).

5

La proporción del número de átomos del tóxico quemable seleccionado, respecto al número de átomos de combustible, se encuentra combinando (3) y (4):

$$(5) \frac{\text{átomos de tóxico quemable}}{\text{átomos de combustible}} = Y \frac{\sigma_f^f}{\sigma_c^{bp}}$$

10

El importe de la reactividad controlada por un tóxico, es decir, su fuerza de control Δk_p , es proporcional a la absorción de neutrones del tóxico relativo a la absorción total de neutrones, así.

$$(6) \Delta k_p = \frac{\sum_a^p \text{(absorción de neutrones térmicos por el tóxico)}}{\sum_a^t \text{(absorción total de neutrones térmicos)}}$$

15

20

De acuerdo con el presente invento, para disminuir el cambio en fuerza de control de reactividad desde la condición cerrada en frío a la condición de funcionamiento en caliente, se selecciona un tóxico quemable compensador de samario, que tiene una sección transversal, que rápidamente disminuye con energía de neutrones térmicos incrementada. Se ha encontrado que el gadolinio es un tóxico quemable, adecuado para este fin. Las secciones transversales macroscópicas de gadolinio, samario y uranio-235 a través de un

25

alcance de energía de neutrones térmicos se comparan en la figura 3. Se observa que la sección transversal (por lo tanto la reactividad) de U-235 disminuye con energía de neutrones incrementada a alrededor del régimen usual $1/v$ (don-

30

376294



- 11. -

1 de v es la velocidad de los neutrones). El samario expone
una punta resonante bastante grande a alrededor de 0,01 elec-
trón-voltios. Así, al cambiar de la condición fría a la
5 condición de funcionamiento en caliente, la fuerza de con-
trol de samario no disminuye tan rápidamente como la dismi-
nución en la absorción de neutrones del combustible, con el
resultado de que la fuerza de control del samario sufre un
incremento.

10 La ventaja de gadolinio resulta de la rápida dis-
minución de su sección transversal por energía de neutrones
creciente, y de la ausencia de resonancia en su sección
transversal sobre el alcance de energía de neutrones térmi-
cos. Así, la fuerza de control del gadolinio disminuye más
15 rápidamente que la disminución en absorción de neutrones del
combustible con el resultado deseable de que la fuerza de
control del gadolinio disminuye desde la condición en frío
hasta la condición de funcionamiento en caliente. Así, co-
mo se ha mencionado anteriormente, el uso de gadolinio para
20 compensar la falta de samario combustible nuevo, puede pro-
curar un mayor margen de control de cierre en frío o, alter-
nativamente, una mayor reactividad de funcionamiento en ca-
liente.

25 Las ventajas del gadolinio en comparación con el
samario como compensación para la falta inicial de samario
se ilustra por la fuerza de control representativa frente a
curvas de tiempo de funcionamiento de la figura 4. Una cur-
va 41 ilustra el desarrollo de samario $Sm(f)$ durante el pe-
riodo temprano de funcionamiento del combustible nuevo.

30

376294



- 12.1070

1 Una curva 42 ilustra el consumo de una cantidad inicial de
samario $Sm(i)$ como podría añadirse para compensar la falta
de samario en el combustible nuevo según se ha sugerido en
5 la técnica anterior. Una curva 43 ilustra el consumo de una
cantidad inicial de gadolinio Gd , añadido para compensar la
falta de samario en el nuevo combustible, de acuerdo con el
presente invento. Una curva 44 ilustra las fuerzas combina
das de control en frío de samario inicial añadido $Sm(i)$ y
10 formándose el samario $Sm(f)$. Una curva 45 ilustra las fuer
zas de control de funcionamiento en caliente combinadas del
samario inicial $Sm(i)$ y el samario formado $Sm(f)$. Una cur
va 46 ilustra las fuerzas de control en frío combinadas del
gadolinio agregado Gd y del samario $Sm(f)$, que se forma,
15 mientras que una curva 47 muestra las fuerzas de control de
funcionamiento en caliente combinadas del gadolinio Gd y del
samario $Sm(f)$.

Así, la figura 4 ilustra que el uso del samario
inicial $Sm(i)$ da por resultado un incremento en la fuerza
de control desde la condición en frío a la condición de fun
20 cionamiento en caliente, mientras que el uso de gadolinio
inicial, de acuerdo con el presente invento, procura una
disminución en fuerza de control de frío a caliente de alre
dedor de los primeros cinco días de funcionamiento del ejem
plo de la figura 4 con un incremento gradual de la fuerza
de criba caliente después de ello, cuando el gadolinio es
consumido y el samario, que se está formando, se acerca a
su concentración de equilibrio.

Así, la ventaja del gadolinio inicial, en compara
30



376294

- 13. - 1970

1 ción con el samario inicial, es que una cantidad apropiada
y una distribución adecuada de gadolinio puede seleccionarse,
5 para la que, durante el periodo de desarrollo del samario $Sm(f)$, la fuerza de control en frío de $Gd + Sm(f)$ es
igual o mayor que la fuerza de control en frío de $Sm(i) + Sm(f)$ y para el que la fuerza de control en caliente de
10 $Gd + Sm(f)$ es igual o menor que la fuerza de control en caliente de $Sm(i) + Sm(f)$ excepto durante los primeros pocos
días de exposición, cuando la mayor fuerza de control en
caliente de $Gd + Sm(f)$ se compensa por la falta de xenon
inicial. La falta de xenon inicial y el desarrollo de xenon
15 en el núcleo se ilustra con una curva 48 en la fig. 5. También se ilustra en la fig. 5 la curva 47 (de la figura
4) y la curva 49. La curva 49 ilustra la fuerza de control
combinada del gadolinio inicial, samario y xenon, que alcanzan un control máximo de fuerza de alrededor de dos días,
que es aproximadamente igual a la fuerza de control combinada de samario y xenon después de alcanzarse el equilibrio
20 de samario a los 24 días aproximadamente. Así, el uso de gadolinio inicial para compensar la falta inicial de samario procura un incremento en el margen de cierre en frío o,
alternativamente, un incremento en el margen de funcionamiento en caliente como se ilustra en los ejemplos presentados a continuación.

25 Ejemplos de la aplicación del presente invento, se ilustran por las figuras 6 - 8, que muestran la constante de multiplicación k_{eff} y fuerzas de control de los elementos del sistema de control de reactividad como una función

30

376294



LEBASTO

de la exposición durante un ciclo de combustible. Las curvas 50 ilustran la reactividad en caliente no intoxicada de un combustible nuevo; las curvas 51 ilustran la reactividad intoxicada en caliente; y las curvas 52 ilustran la reactividad controlada en caliente.

La figura 6 ilustra el caso, en que la tolerancia de reactividad para la intoxicación de samario no está compensada por el tóxico quemable inicial. Se supone que la tolerancia de reactividad para agotamiento de combustible se compensa parcialmente por lo menos por un tóxico quemable autoblandado, procurando una fuerza de control Δk_{bp} . La caída rápida inicial en reactividad es el resultado del desarrollo de samario y xenon procurando una fuerza de control de equilibrio $\Delta k (Xe + Sm)$. Una fuerza de control Δk_{cr} se procura por el sistema de barras de control mecánicas. También ocurren efectos de temperatura Δk_T y efectos de vacío Δk_V . En el caso de la figura 5, la reactividad de funcionamiento en caliente rápidamente cae de 1,07 a 1,03 Δk_{eff} , mientras que la reactividad en frío cae de 0,970 a 0,963 según se va desarrollando el samario y el xenon. Así, en este caso el margen mínimo de reactividad en caliente es (despreciando la caída cerca del final del ciclo de combustible) 0,03 y el margen mínimo de cierre en frío es también 0,03.

En el caso ilustrado en la figura 7, tóxico quemable diluido inicial, tal como gadolinio es añadido, que procura una fuerza de control de Δk_{Gd} (caliente) y Δk_{Gd} (frío) para compensar la falta inicial de samario. La reac

376294



- 15.-

1 tividad mínima de funcionamiento en caliente (excepto la
caída al final del ciclo de combustible) permanece la misma
a 1,03, pero la reactividad en frío máxima es ahora de 0,963
5 más bien que 0,970 k_{eff} de la figura 6. Por lo tanto, el
margen de cierre en frío es incrementado de 0,03 a 0,037.
Así en el caso del uso de tóxico quemable, para compensar
la falta inicial de samario, se procura un margen adicional
mínimo de cierre en frío de 0,007 k_{eff} . Esta mejoría en el
10 margen de cierre en frío puede realizarse con o sin el uso
de tóxico quemable autoblandado como compensación del consu
mo de combustible.

15 En el caso ilustrado en la figura 8, la misma can
tidad de gadolinio diluido, que en el ejemplo de la figura
7, se añade para compensar la falta inicial de samario.
Sin embargo, una cantidad del tóxico quemable autoblandado,
procurada para acomodar el agotamiento de combustible, se
separa para incrementar el margen de reactividad de funcio
namiento en caliente. En el ejemplo de la figura 8 una can
20 tidad del tóxico quemable autoblandado se separa para procu
rar una reducción de 0,007 Δk_{bp} en la condición fría de al
rededor de 0,010 Δk_{bp} en condición caliente. Así, el mar
gen de cierre en frío es mantenido a un mínimo de 0,03 como
en el ejemplo de la figura 5, mientras que el margen de fun
25 cionamiento en caliente es incrementado a 0,04. Este incre
mento en el margen de funcionamiento en caliente de 0,03 a
0,04 Δk_{eff} puede ser de gran significado, cuando se reposte
el combustible o se rellene con el mismo un reactor dado de
mayor energía y/o mayor vida de combustible, porque usualmen

30

376294



- 16.-

1970

1
5
10
15
20
25
30

te es difícil y costoso o poco práctico procurar una fuerza de control mayor en el sistema de control mecánico.

Cuando también se utilice tóxico de gadolinio para compensar la tolerancia de reactividad de agotamiento de combustible, su uso para compensación de samario procura la ulterior ventaja de reducir costes de fabricación y elaboración y complicaciones. Además, el gadolinio puede ser producido fácilmente en una forma de óxido, que es compatible con las formas de óxido, utilizadas al presente, de combustible nuclear.

N O T A . -

=====

La presente patente de invención, consta de las siguientes reivindicaciones:

1.- Disposición de elementos de combustible para un reactor nuclear conteniendo un combustible nuclear, inicialmente falto de una cantidad de equilibrio de samario, caracterizada porque dicho combustible procura un exceso de reactividad para compensar el establecimiento de samario en dicho elemento durante el funcionamiento en dicho reactor, y una cantidad inicial de tóxico quemable, diluido en dicho elemento, para compensar dicha falta inicial de samario, teniendo dicho tóxico quemable una sección transversal, que disminuye más rápidamente que la de samario-149, con energía creciente de neutrón.

376294



- 17.-

1

2.- Disposición según la reivindicación 1, caracterizada porque dicho tóxico quemable tiene una fuerza inicial de control en el régimen de una a tres veces la fuerza de control de equilibrio de samario-149 en dicho elemento.

5

3.- Disposición según la reivindicación 1, caracterizada porque dicho tóxico quemable es gadolinio.

10

4.- Disposición según la reivindicación 3, caracterizada porque dicho gadolinio está en la forma de un óxido mezclado por lo menos con una porción de dicho combustible nuclear.

15

5.- Disposición según las reivindicaciones 1 - 4, de conjunto de combustible para un núcleo de reactor nuclear, comprendiendo una pluralidad de elementos de combustible, faltándoles a dichos elementos de combustible inicialmente una cantidad de equilibrio de samario, procurando dicho combustible un exceso de reactividad para compensar el samario, que debe ser establecido en dichos elementos de combustible durante el funcionamiento de dicho reactor, y una cantidad inicial de tóxico quemable, diluido, en dicho conjunto de combustible, caracterizada porque dicho tóxico quemable tiene una sección transversal, que disminuye más rápidamente que la sección transversal de samario-149 con incrementos en energía de neutrones, procurando dicho tóxico quemable una fuerza de control por lo menos suficiente para balancear dicho exceso de reactividad.

20

25

30

6.- Disposición según la reivindicación 5, carac-

376294



- 18.-

1970

1 terizada porque dicho tóxico quemable es gadolinio.

5 7.- Disposición según la reivindicación 5, caracterizada porque dicho tóxico quemable está contenido por lo menos en uno de dichos elementos de combustible.

10 8.- Disposición según la reivindicación 7, caracterizada porque dicho tóxico quemable está en la forma de un óxido mezclado con el combustible del citado de dichos elementos de combustible mencionados.

15 9.- Disposición según las reivindicaciones 5 - 8, caracterizada porque dicho combustible procura un primer exceso de reactividad para compensar el agotamiento de combustible durante el funcionamiento en dicho reactor, procurando dicho combustible un segundo exceso de reactividad para compensar la cantidad de samario, que debe establecerse en dichos elementos durante el funcionamiento en dicho reactor; procurando una cantidad de tóxico quemable auto-blindado en dicho conjunto de combustible, una fuerza de control para balancear por lo menos una porción de dicho primer exceso de reactividad; y procurando, una cantidad de tóxico quemable, diluido en dicho conjunto de combustible, una fuerza de control por lo menos para balancear dicho segundo exceso de reactividad.

25 10.- Disposición según la reivindicación 9, caracterizada porque en dicho tóxico quemable diluido está contenida una fuerza de control, que disminuye desde la condición fría hacia la condición caliente en dicho reactor.

30

376294



1970

- 19.-

1 11.- Disposición según la reivindicación 9, caracterizada porque dicho tóxico quemable diluido es gadolinio.

5 12.- Disposición según la reivindicación 11, caracterizada porque dicho tóxico quemable auto-blindado es gadolinio.

10 13.- Disposición según la reivindicación 9, caracterizada porque dicho tóxico quemable diluido está mezclado con el combustible de por lo menos uno de dichos elementos de combustible.

15 14.- Disposición según la reivindicación 5, caracterizada porque dicho tóxico quemable auto-blindado está contenido por lo menos en uno de dichos elementos de combustible y dicho tóxico quemable diluido está contenido por lo menos en otro de dichos elementos de combustible.

20 15.- Disposición de elemento de combustible para un reactor nuclear.

25 Según se describe y reivindica en la adjunta memoria descriptiva y se ilustra con los planos adjuntos, constando la memoria de diecinueve hojas foliadas, escritas a máquina por una sola de sus caras.

30 Madrid, a 6 de Febrero de 1970.

CARLOS ROBB
R.P.

3 7 6 2 9 4



FEB 1970

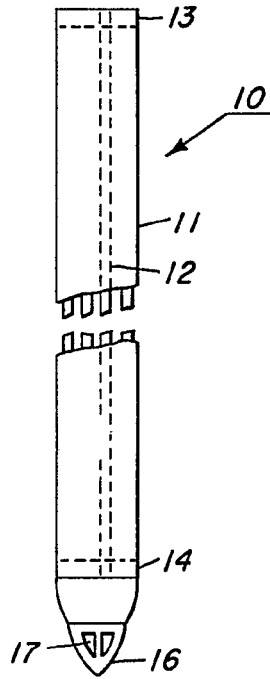


Fig. 1

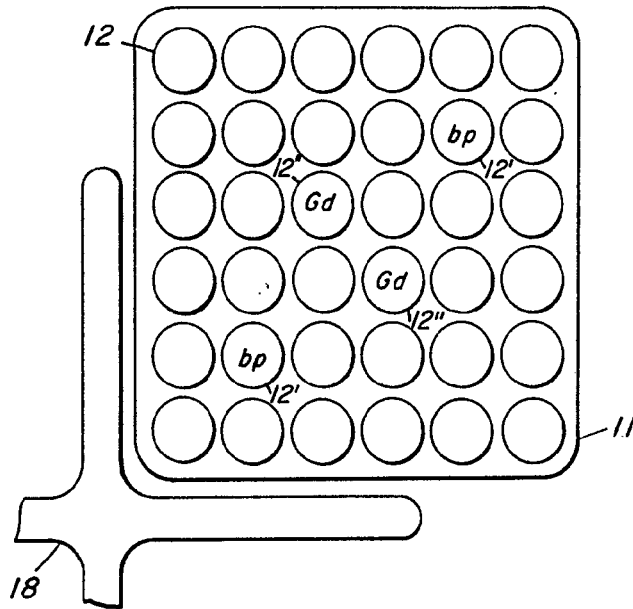


Fig. 2

DEVELOPER

CARLOS ROED
P.R.



76294

870294

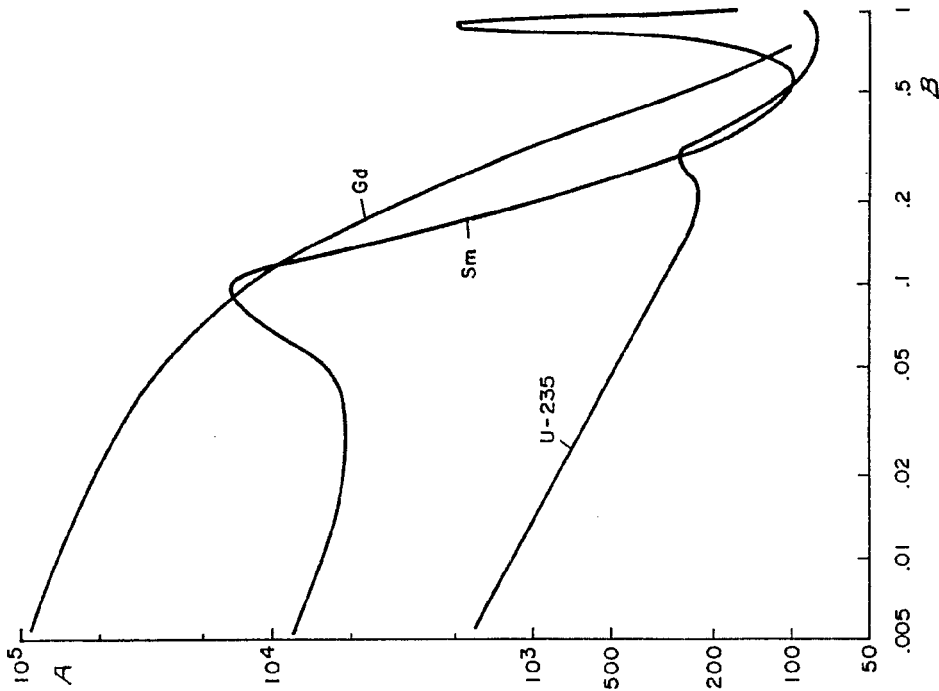


Fig. 3

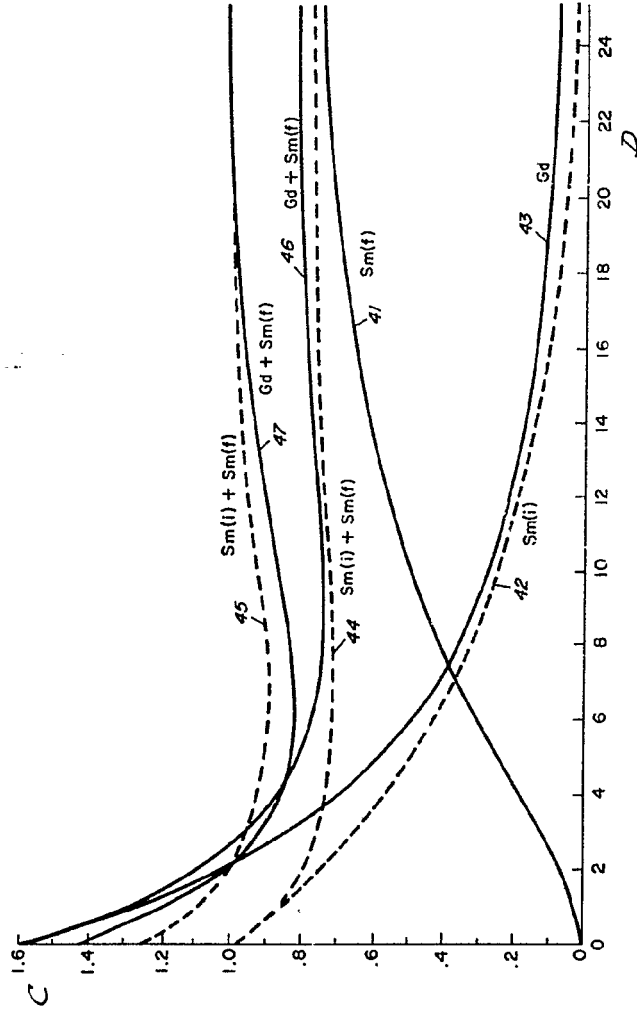


Fig. 4

CARLOS ROBB
P.R.
[Signature]

376294

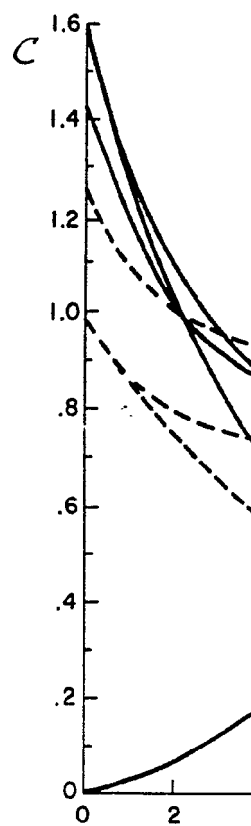
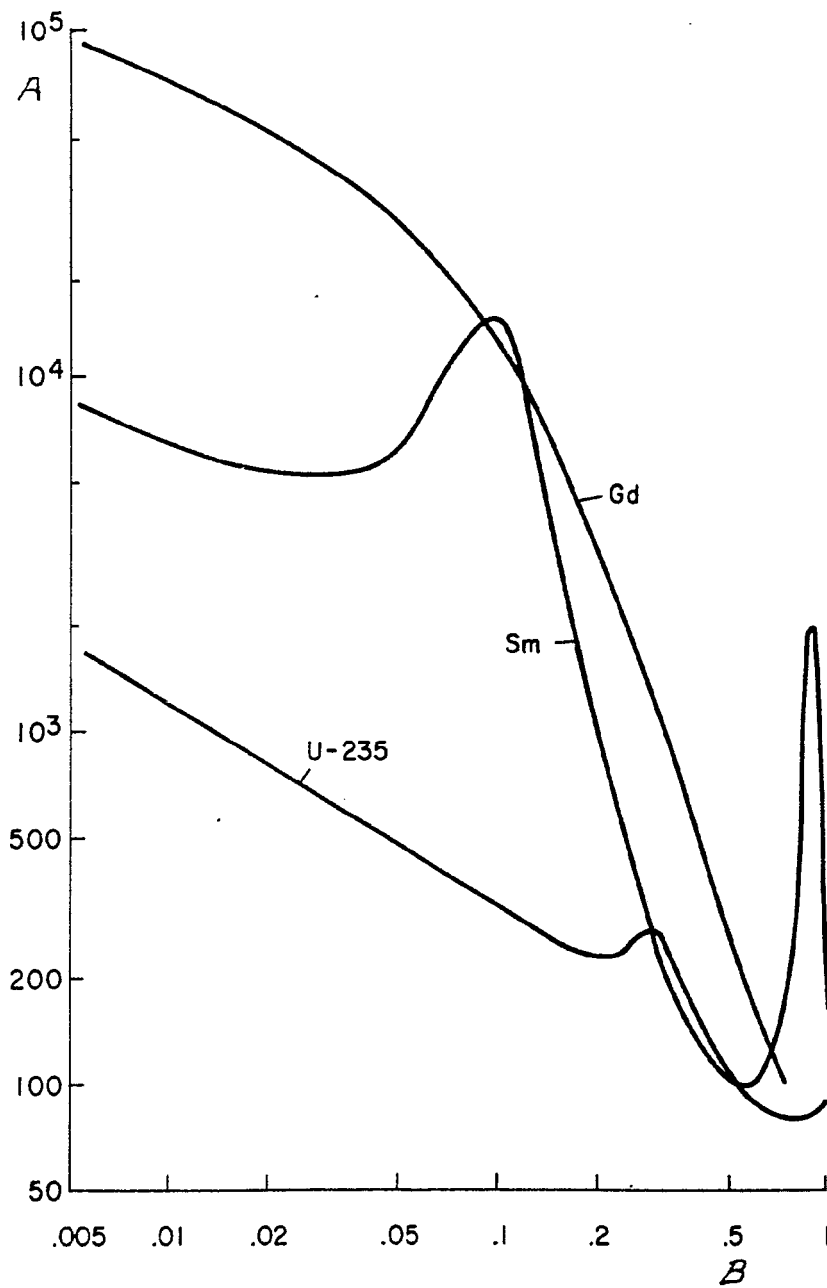
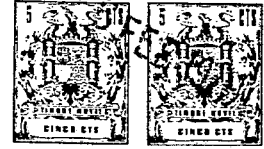


Fig. 3



376294

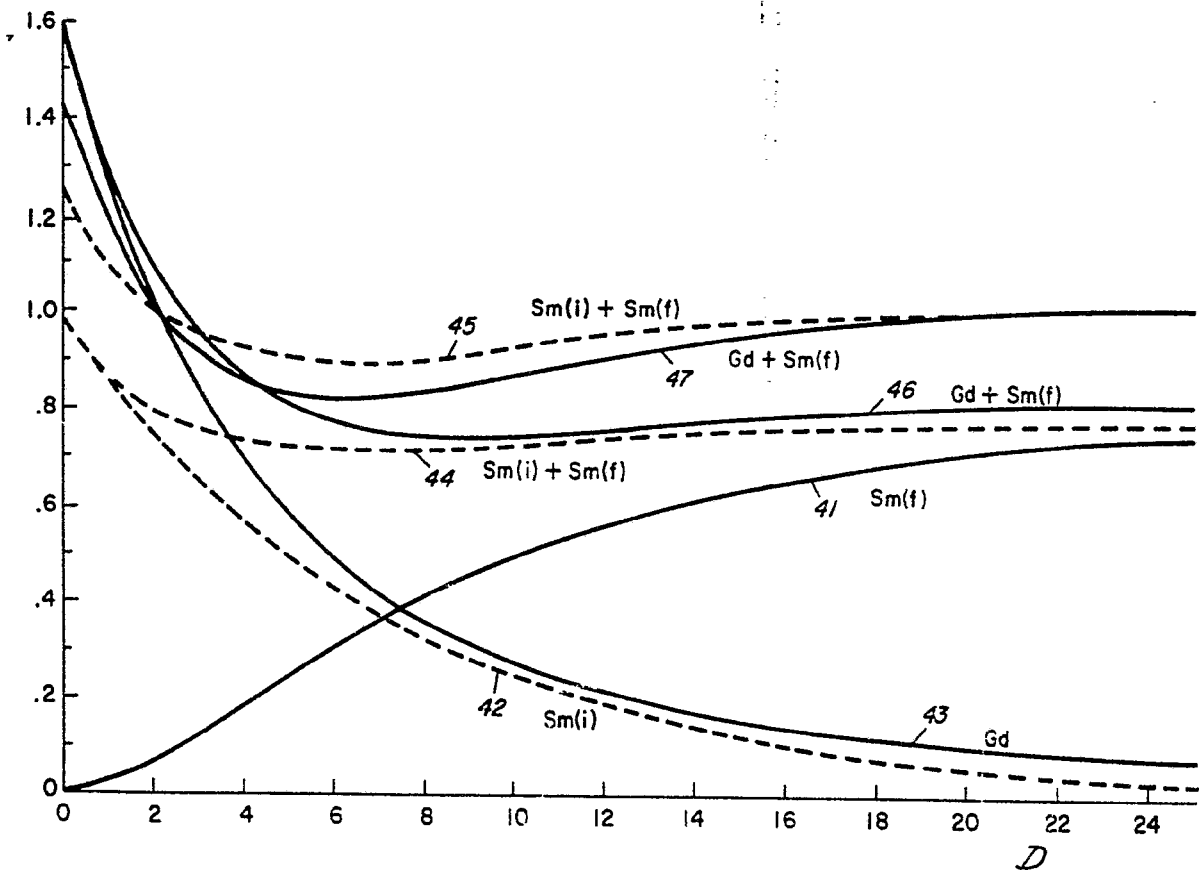
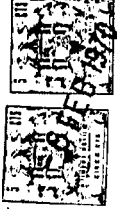


Fig. 4

LABORATORIO DE INVESTIGACIONES

CARLOS ROBB
P.R.



76294

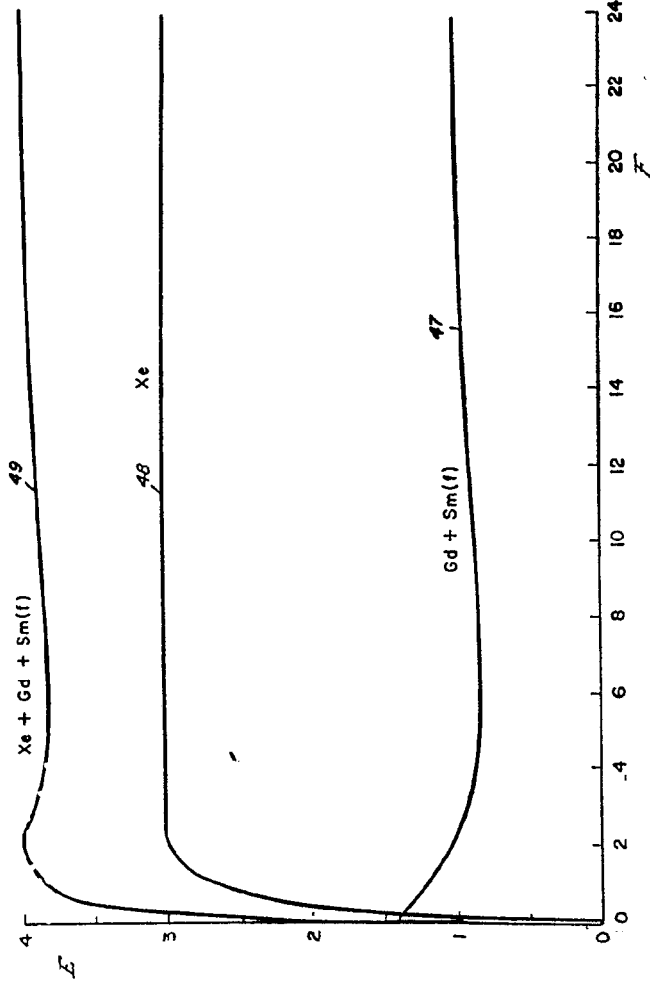


Fig. 5

76294

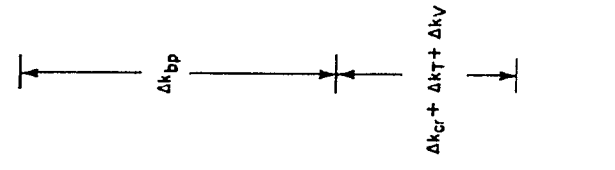


Fig. 6

ESQUEMA DE MUESTRA
 CARLOS ROEDER
 P.R.
[Signature]

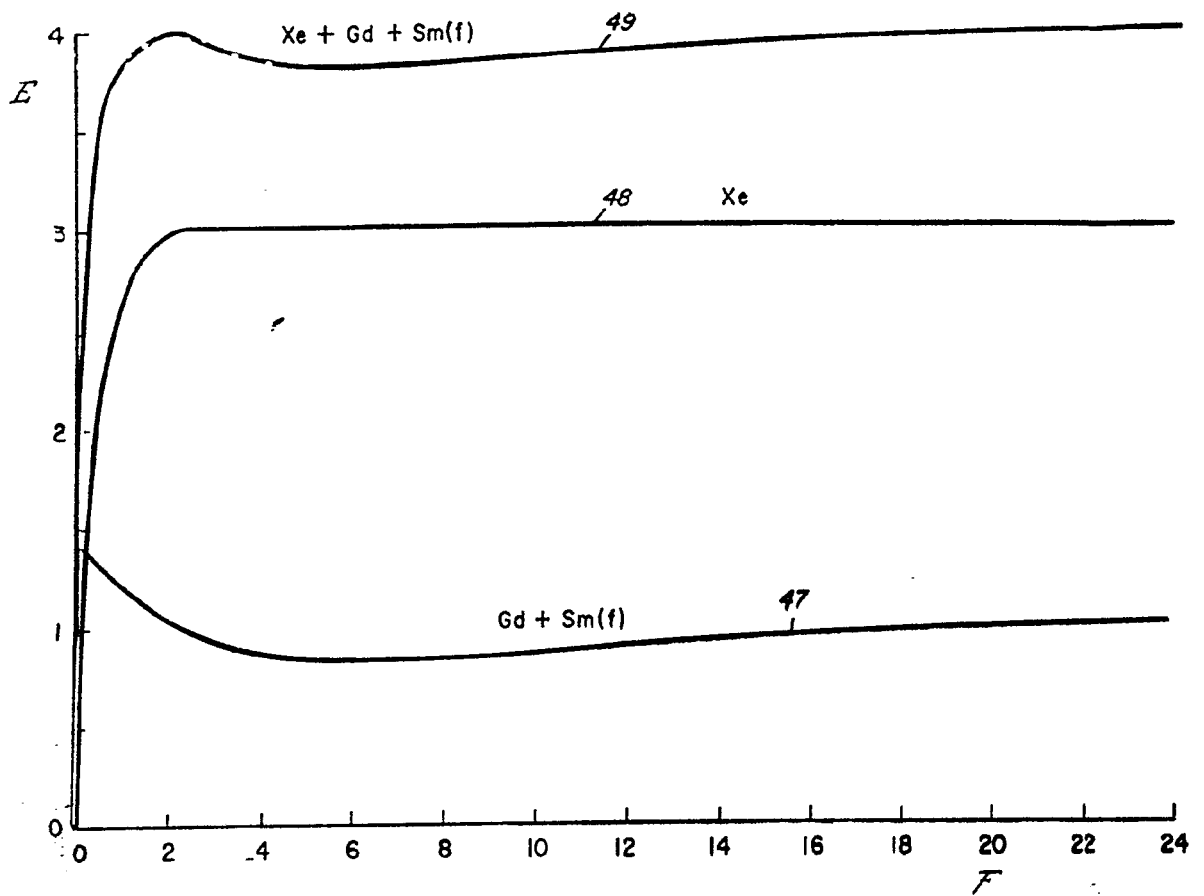


Fig. 5

76294

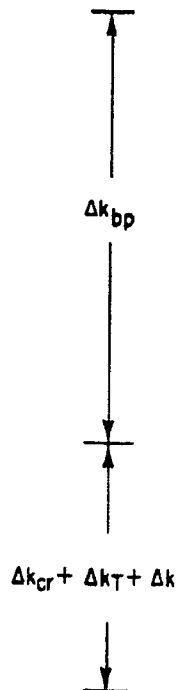


Fig. 6



876294

22 24

ESCALA VARIABLE

CARLOS ROEB
P.P.

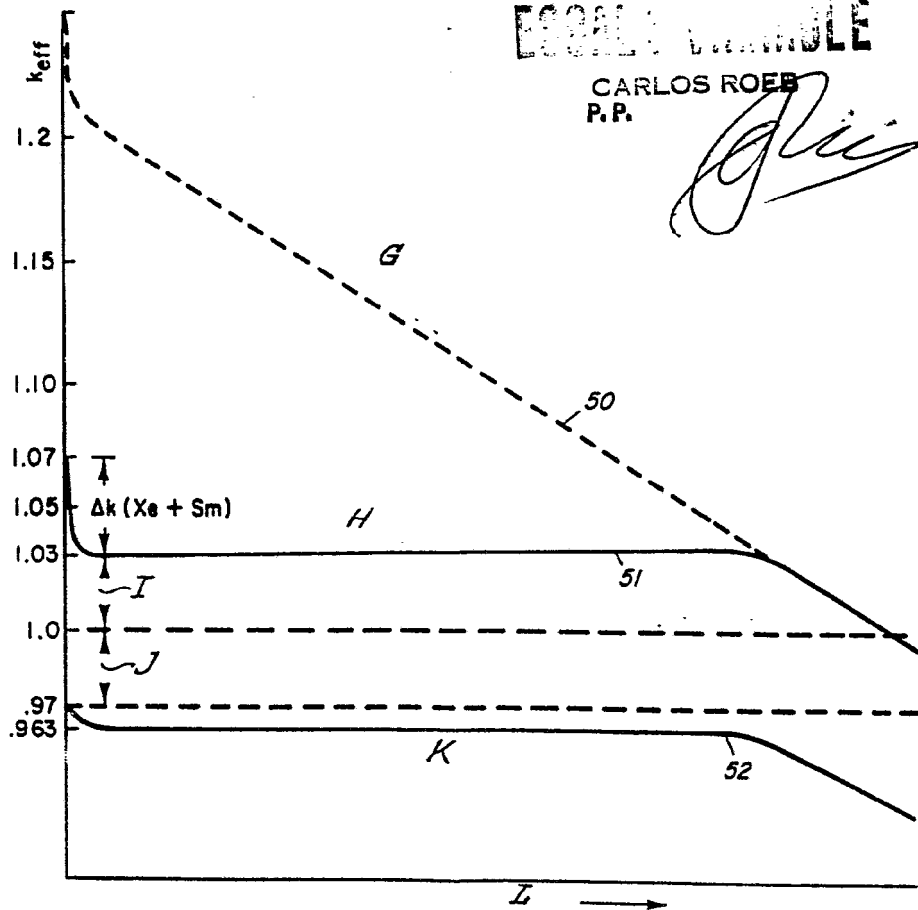
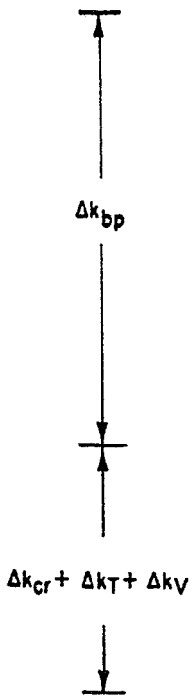
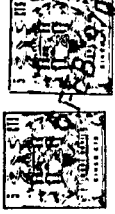


Fig. 6



376294

ESCORO INVENTOR

CARLOS ROER
'P.P.'

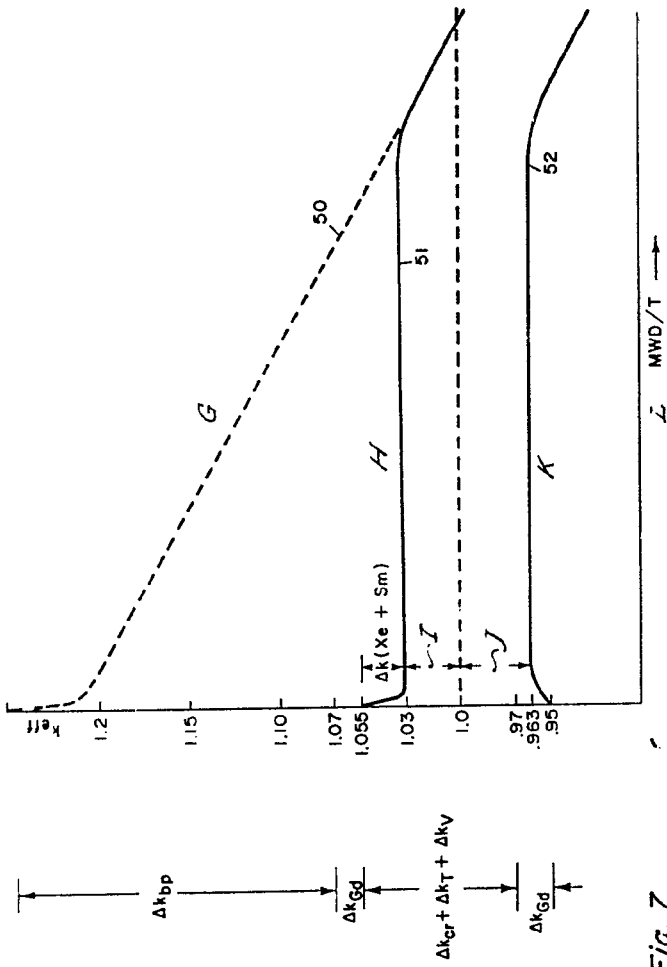


Fig. 7

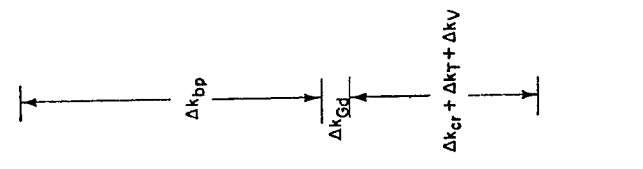


Fig. 8

376294

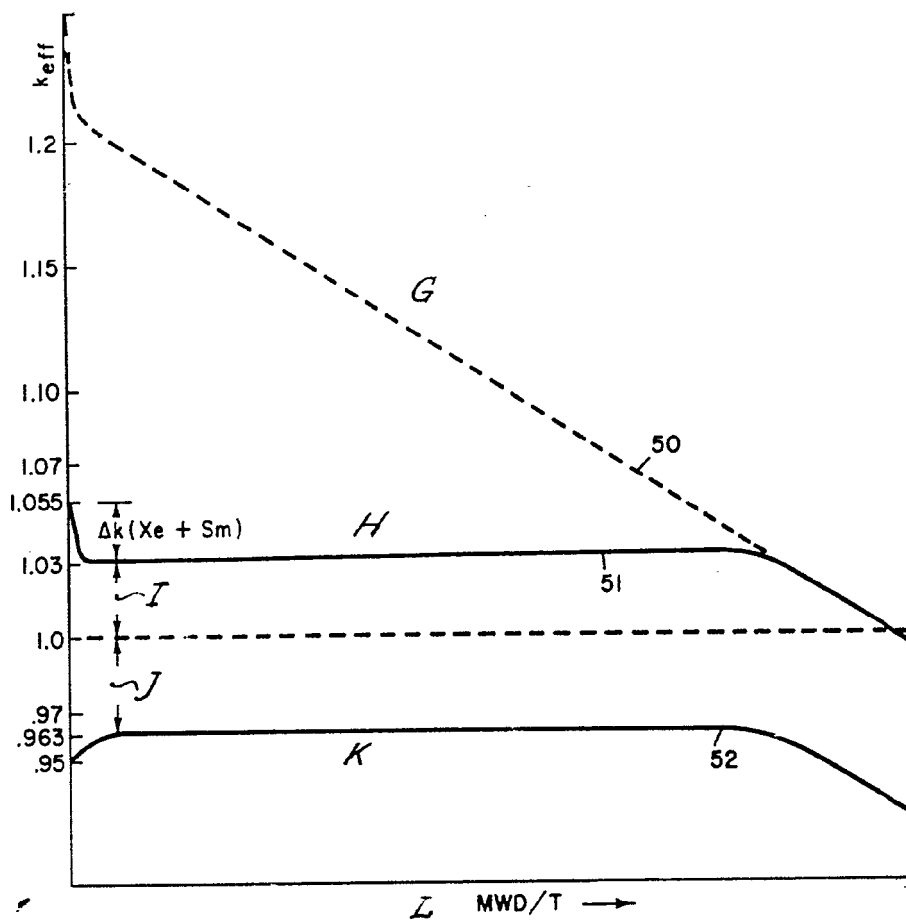
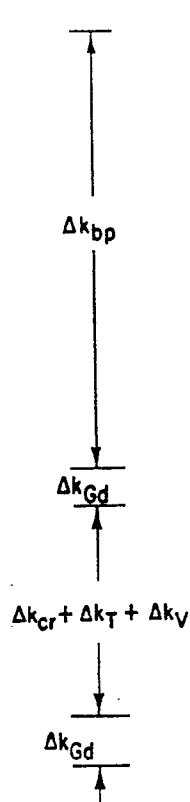


Fig. 7

376294

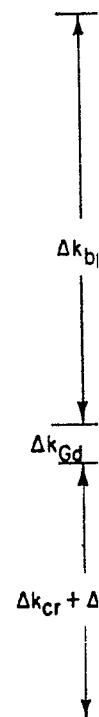


Fig. 8



3 7 6 2 9 4

ESCALA VARIABLE

CARLOS ROEB
P.P.

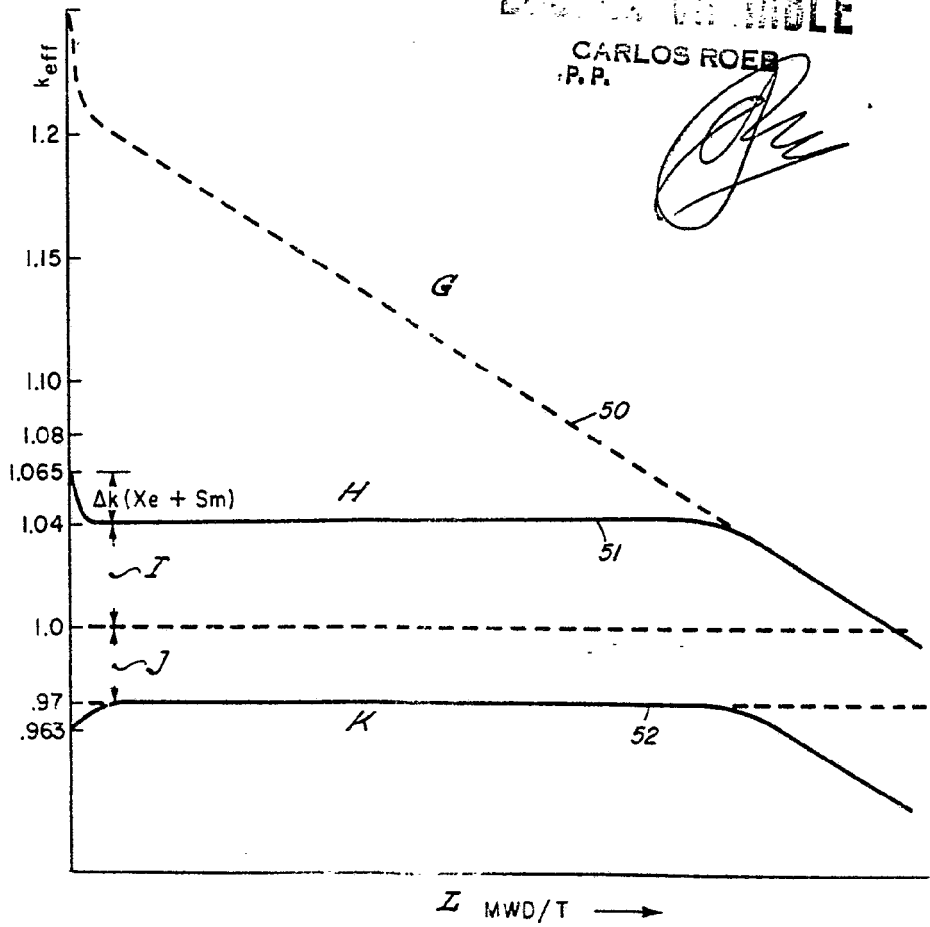
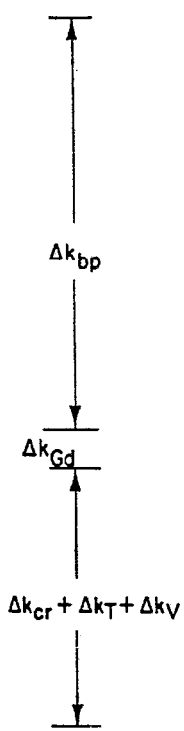


Fig. 8