



P - 31.087

NUMEC

Puechl 426.814

322002

322002

MEMORIA DESCRIPTIVA

que se presenta para unir a la solicitud

de

P A T E N T E D E I N V E N C I O N

formulada el 20 de enero de 1.966, con el núm. 322.002

en

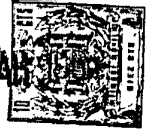
E S P A Ñ A

por VEINTE años

a nombre de NUCLEAR MATERIALS AND EQUIPMENT CORPORATION,
entidad norteamericana establecida en 7th and Warren Avenues,
Apollo, Pensilvania, Estados Unidos de América, por:

"UN REACTOR NUCLEAR"

Este invento se refiere a la técnica nuclear
y tiene relación particular con los reactores nucleares del
tipo convertidor para suministrar instalaciones de energía
eléctrica. Los reactores convertidores incluyen un material
5 fértil que puede convertirse en material fisionable cuando
está en combustión o actividad el reactor. De acuerdo con
las enseñanzas de la técnica anterior, un reactor conver-
tidor incluye inicialmente material fisionable, pero el
enriquecimiento del material fisionable es pequeño, del
10 orden del 5%. Así, un reactor convertidor puede incluir



U_{238} que tiene un enriquecimiento de 5% de U_{235} o U_{233} o plutonio.

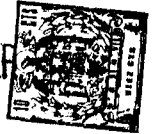
Es deseable que los reactores nucleares tengan una larga vida o duración de núcleo para minimizar los costes de reabastecimiento de combustible. Un objetivo deseable es que el reactor tenga una vida de núcleo comparable con la vida del resto de la instalación de energía en la que está instalado; es decir, con la vida de las turbinas de vapor y equipo correspondiente. Este requerimiento no ha sido satisfecho por los reactores de la técnica anterior y es un objeto de este invento crear un reactor nuclear del tipo convertidor que tenga una vida larga de núcleo comparable con la vida de la instalación de energía en la que está instalado.

Hay generalmente por lo menos dos aspectos para este problema de conseguir un reactor que tenga una vida larga; uno relacionado con la estabilidad al deterioro por radiación del combustible y el otro con consideraciones neutrónicas inherentes al reactor. Este invento concierne al aspecto neutrónico inherente al reactor.

Este invento surge del descubrimiento de que para conseguir una vida larga la relación de conversión; es decir, la relación del número de átomos fértiles convertidos en átomos fisionables, durante un intervalo de tiempo de operación o funcionamiento del reactor, al número de átomos fisionables quemados durante este intervalo ha de exceder al principio de la operación una fracción que es igual a uno dividido por la suma: uno más la razón inicial de átomos fisionables fértiles. En los reactores convertidores del tipo de la técnica anterior el combustible está

322002

9 MAR



ligeramente enriquecido con isotopos fisionables, usualmente hasta menos del 5%. Para estos enriquecimientos, pueden conseguirse relaciones de conversión en la gama de 0,6 a 0,9, y la vida del núcleo se prolonga por la conversión de átomos fisionables. La relación de conversión de 0,6 a 0,9 asequible en tales reactores de la técnica anterior no cumple la condición anterior para un reactor de vida larga, las magnitudes de 0,6 a 0,9 son menores que el factor inicial antes descrito debido a que el enriquecimiento inicial es pequeño. En la práctica de este invento la relación inicial de átomos fisionables a fértiles es alta en vez de baja, por ejemplo 30% en lugar de 5%; este cambio constituye una desviación radical de las enseñanzas de la técnica anterior.

15 La base para este concepto puede comprenderse de los siguientes análisis en los cuales:

$N(0)$ = número de átomos fisionables al comienzo de la operación fisionable

20 $N(t)$ = número de átomos fisionables en el instante t después del comienzo de la operación fisionable.

$N_f(0)$ = número de átomos fértiles al comienzo de la operación fértil

25 $N_f(t)$ = número de átomos fértiles en el instante t después del comienzo de la operación fértil

t = tiempo de combustión del reactor

r = relación de conversión

30 $E(t)$ = número de átomos fisionables quemados durante el tiempo t

322002



E (c) = enriquecimiento inicial. = relación de átomos fisionables a átomos fisionables mas fértiles, en el instante 0.

5 E(t) = enriquecimiento después del tiempo (t)
 R(t) = relación del número de átomos fisionables al número de átomos fértiles en el instante t.

10 R(0) = relación inicial del número de átomos fisionables al número de átomos fértiles.

$$N(t)_{\text{fisionable}} = N(0)_{\text{fisionable}} - B(t) + r B(t) \quad (1)$$

Por definición $r = \frac{N(0)_{\text{fertil}} - N(t)_{\text{fertil}}}{B(t)}$

15
$$N(t)_{\text{fertil}} = N(0)_{\text{fertil}} - r B(t) \quad (2)$$

Dividiendo la ecuación (1) por la ecuación (2)

20
$$\frac{N(t)_{\text{fisionable}}}{N(t)_{\text{fertil}}} = \frac{N(0)_{\text{fisionable}} - B(t) + r B(t)}{N(0)_{\text{fertil}} - r B(t)} \quad (3)$$

El lado izquierdo de la ecuación (3) es R(t) por definición

25 Dividáse el numerador y el denominador del lado derecho por N(0) fértil



322002

$$R(t) = \frac{\frac{N(0)}{\text{fisionable}} - \frac{B(t)}{\frac{N(0)}{\text{fétil}}} + \frac{r B(t)}{\frac{N(0)}{\text{fétil}}}}{1 - \frac{r B(t)}{\frac{N(0)}{\text{fétil}}}}$$

$$R(t) = \frac{R(0) - (1-r) \frac{B(t)}{\frac{N(0)}{\text{fétil}}}}{1 - r \frac{B(t)}{\frac{N(0)}{\text{fétil}}}} \quad (4)$$

15 Poniendo $t = \frac{B(t)}{\frac{N(0)}{\text{fétil}}}$ (5)

Entonces $R(t) = \frac{R(0) - (1-r)t}{1 - rt}$ (6)

20 La ecuación (6) es una familia de curvas que tiene los parámetros $R(0)$ y (r) , Para determinar cómo varía $R(t)$ como una función de (t) , se toma

$$\frac{dR(t)}{d(t)} = 0 \quad (7)$$

25 La ecuación (7) se convierte entonces en

$$R(0) = \frac{1-r}{r} \quad (8)$$

30 Ahora, por definición el enriquecimiento $E(t)$ en el instante

322002



t viene dado por

$$\begin{aligned}
 E(t) &= \frac{N(t)_{\text{fisionable}}}{N(t)_{\text{fisionable}} + N(t)_{\text{fértil}}} \\
 &= \frac{R(t)}{1 + R(t)} \quad (9)
 \end{aligned}$$

$$E(0) = \frac{R(0)}{1 + R(0)} \quad (10)$$

Combinando 8 y 10

$$\begin{aligned}
 E(0) &= 1 - r \\
 r &= 1 - E(0) \quad (11)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1 - R(0)}{1 + R(0)} \quad (12)
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{1 + R(0)} \quad (13)$$

20 Substituyendo (12) en 6

$$R(t) = R(0) \text{ cuando se satisface (12)}$$

El significado de las ecuaciones anteriores es que cuando el enriquecimiento inicial, $E(0)$ es igual a uno menos la relación de conversión r , el enriquecimiento permanece constante en el tiempo y cuando la relación de conversión r es mayor que este valor correspondiente para el enriquecimiento E_0 , el enriquecimiento aumenta con el tiempo.

9 MAY 1954

322002

En $r = \frac{1}{1 + R(o)}$, $R(t)$ es constante, igual a $R(O)$

5 $r > \frac{1}{1 + R(O)}$, $R(t)$ aumenta como función del tiempo t

$r < \frac{1}{1 + R(o)}$, $R(t)$ disminuye como función del tiempo (t)

10 pero $E(t) = \frac{R(t)}{1 + R(t)}$

por tanto $r > \frac{1}{1 + R(o)}$, $E(t)$ aumenta como función del tiempo.

15 Puesto que la reactividad es una función directa de $E(t)$ la reactividad aumentaría también como función del tiempo.

Así es deseable que

20 $r > \frac{1}{1 + R(o)}$

Donde $R(o)$ es sólo 0,05. Es necesario que r sea mayor de

25 $\frac{1}{1 + 0,05} = 0,94$

Puesto que r es generalmente menor que 1 no se consigue fácilmente la desigualdad deseada. Pero con $R(o)$ mayor del orden de 0,30, r necesita exceder de

322002

9M



$$\frac{1}{1,30} = 0,77$$

y ésto se consigue fácilmente. Por ejemplo, una relación de conversión de 0,8 a 0,9 excedería de 0,77.

5 En la siguiente Tabla I se exponen en forma de tabla las relaciones de conversión r y los correspondientes enriquecimientos $E(o)$ mínimos o iniciales como se dan por la ecuación (11); en la siguiente Tabla II se da una ilustración que muestra como aumenta el enriquecimiento como función de tiempo para un reactor que tiene
10 una relación constante de conversión r de 0,8 y un enriquecimiento inicial $E(o)$ de 30%;

Tabla I

15 Valores de punto de rotura para el enriquecimiento inicial y relaciones correspondientes de conversión

	<u>E_o</u>	<u>r</u>
	0,10	.90
20	0,20	.80
	0,30	.70
	0,40	.60
	0,50	.50
	0,60	.40
25	0,70	.30
	0,80	.20
	0,90	.10

322002



Tabla II

Variación de enriquecimiento de combustible con la combustión completa

5 Enriquecimiento inicial, $E(0) = 0,30$
 Relación constante de conversión $= 0,80$

10	Combustión total fraccionaria	$B(t)$	Material fisionable $N(t)$	Material fértil $N(t)$ -fértil	$E(t)$
	Ecuación (1)				
	0		0,30	0,70	0,300
	0,1		0,28	0,62	0,311
	0,2		0,26	0,54	0,325
	0,3		0,24	0,46	0,342
15	0,4		0,22	0,38	0,367
	0,5		0,20	0,30	0,400
	0,6		0,18	0,22	0,450
	0,7		0,16	0,14	0,533
	0,8		0,14	0,06	0,700

20 Aunque generalmente no pueden construirse reactores que tengan relaciones constantes de conversión r , puede construirse un reactor que tenga una relación de conversión r mayor que la relación de conversión inicial correspondiente durante un tiempo de vida apreciable.

25 Con referencia a las tablas y al análisis anterior, se concluye que cuando un reactor está diseñado de tal modo que la relación de conversión r sea mayor que el valor correspondiente de enriquecimiento dado en la Tabla I, la relación de átomos fisionables a átomos fértiles dentro de un reactor aumenta con el tiempo y, a
 30 condición de que la relación de conversión no descienda



debajo del valor inicial , aumenta continuamente hasta que no quede material fértil para ser convertido.

5 Con la excepción de reactores extremadamente compactos donde predomina la fuga de neutrones del sistema, la reactividad en los reactores está determinada primordialmente por la relación de material fisionable a fértil. Los neutrones perdidos por fuga de neutrones del reactor o por absorción por el moderador o por los materiales estructurales son generalmente pocos en comparación con el número de neutrones absorbidos por los materiales fisionables y fértiles. El enriquecimiento, por lo tanto, está relacionado directamente con la reactividad del reactor. Puesto que estos reactores son por tanto hechos funcionar con relaciones de conversión r más altas que los enriquecimientos

10 iniciales, el enriquecimiento aumenta y aumenta también la reactividad, ignorando por un momento el efecto de acumulación de productos de fisión o los efectos espectrales. Mediante una selección adecuada del enriquecimiento inicial y de la relación de conversión, se crea, de acuerdo con este

15 invento, un reactor en el cual la tendencia hacia la reactividad incrementada por razón del enriquecimiento creciente compensa razonablemente otras tendencias cualesquiera hacia un enriquecimiento decreciente, es decir, compensa primordialmente los efectos de acumulación de productos de fisión.

20 Con estos reactores, es asequible por lo tanto una vida de núcleo relativamente grande, como una necesidad mínima del control de compensación.

25 Las relaciones de conversión requeridas son fácilmente obtenibles. Típicamente, en grandes reactores de agua pesada, las relaciones de conversión en exceso de

30

322002



0,8, de hecho inicialmente en exceso de 0,9, son asequibles en la práctica y es viable un enriquecimiento en la gama de 10-20%. En tales reactores en los cuales el material fértil es U-238 ha de prestarse consideración a la sección transversal relativamente pequeña de este material fértil. A causa de esta sección transversal pequeña la absorción de neutrones para la conversión de material fértil en material fisiónable es baja. Se remedia esta dificultad por la inclusión de material difusor dentro del elemento combustible. Esto tiene el efecto de aumentar la absorción de resonancia en el material fértil (U-238) y de este modo mantener una alta relación de conversión aún cuando aumente el enriquecimiento. Deben tomarse medidas similares en reactores en los que se utilice agua ordinaria u otros moderadores. Para estos sistemas, la relación de conversión es generalmente menor que las asequibles con reactores de agua pesada y los enriquecimientos correspondientes necesarios son algo más altos; pero, los principios generales anteriormente descritos también prevalecen.

Para una mejor comprensión de este invento en lo que se refiere a su organización así como a su método de operación, junto con objetos y ventajas adicionales del mismo, se hace referencia a la siguiente descripción considerada en relación con el dibujo adjunto, en el cual:

La figura 1 es una vista en perspectiva, general diagramática, que representa una realización de este invento; y

La figura 2 es una gráfica que ilustra los principios de este invento.

El aparato representado en la figura 1 es un

322002

9 MAR



reactor nuclear del tipo de conversión que incluye un recipiente 11 que tiene un núcleo 13 que incluye los elementos combustibles 15. Los elementos 15 tienen una alta relación inicial $R(0)$ de combustible fisionable a fértil y el moderador y el combustible están entremezclados de modo que el combustible fértil está expuesto eficazmente a los neutrones, y puede conseguirse una alta relación de conversión. El núcleo incluye también las barras de control usuales 17 accionadas por las varillas de accionamiento 25. Los extremos de las varillas forman prolongaciones 23.

El recipiente 11 está provisto de los conductores de entrada y salida 19 y 21 respectivamente para el agua.

En la figura 2 la relación $R(t)$ de material fisionable a material fértil se representa gráficamente como función del tiempo suponiendo $R(0) = 0,3$ y para diferentes magnitudes de (r) . Se ve que

$$\text{para } r = \frac{1}{1 + R(0)} = 0,77, \quad R(t) = R(0)$$

para $r < 0,77$, $R(t)$ disminuye como función del tiempo, y para $r > 0,77$ $R(t)$ aumenta como función del tiempo.

$$E(t) = \frac{R(t)}{1 + R(t)}$$

$E(t)$ aumenta por lo tanto cuando aumenta $R(t)$ pero más lentamente. Cuando r excede de $0,77$, $E(t)$ aumenta cuando el reactor está en combustión y la reactividad aumenta correspondientemente.

Aunque se ha descrito aquí una realización preferida de este invento, son posibles muchas modificaciones

322002



nes del mismo. Por tanto este invento no ha de restringirse excepto en cuanto lo requiere el espíritu de la técnica anterior.

5 Esta solicitud que corresponde a la presentada en los Estados Unidos de América, el día 21 de enero de 1965, bajo el nº 426.814, se acoge a los beneficios del artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

10 - N O T A -

Los puntos de invención propia y nueva que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los
15 siguientes:

1.- Un reactor nuclear del tipo de conversión que incluye combustible fértil capaz de ser convertido en combustible fisicnoble, que tiene una relación de conversión r , y que tiene una relación, en el instante t después
20 del comienzo de la operación, de material fisicnoble a material fértil de $R(t)$ y que tiene un enriquecimiento $E(t)$ en dicho instante t , estando $E(t)$ definido por la ecuación

$$E(t) = \frac{R(t)}{1 + R(t)},$$

25

estando caracterizado dicho reactor porque $r \geq 1 - E(0)$
donde

$$E(0) = \frac{R(0)}{1 + R(0)}$$

30 siendo $E(0)$ y $R(0)$ respectivamente las magnitudes de $E(t)$



322002

y $R(t)$ al comienzo de la operación.

5 2.- El reactor de la reivindicación 1 en el cual la r inicial es sustancialmente mayor que $E(0)$ de tal modo que durante un apreciable tiempo de vida del reactor r permanece sustancialmente más alto que $1-E(0)$.

10 3.- El reactor de la reivindicación 1, que comprende combustible que incluye material fértil capaz de transformarse en fisionable y material difusor de neutrones entremezclado con el material de manera que los neutrones de dicho reactor son mantenidos en relación de colisión repetida con dicho material para alcanzar así una alta relación de conversión.

4.- Un reactor nuclear.

15 Tal y como se ha descrito en la memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompaña y con los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de catorce hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 9 MAR 1966

20

P.A.

Alberto A. For. For. *[Signature]*

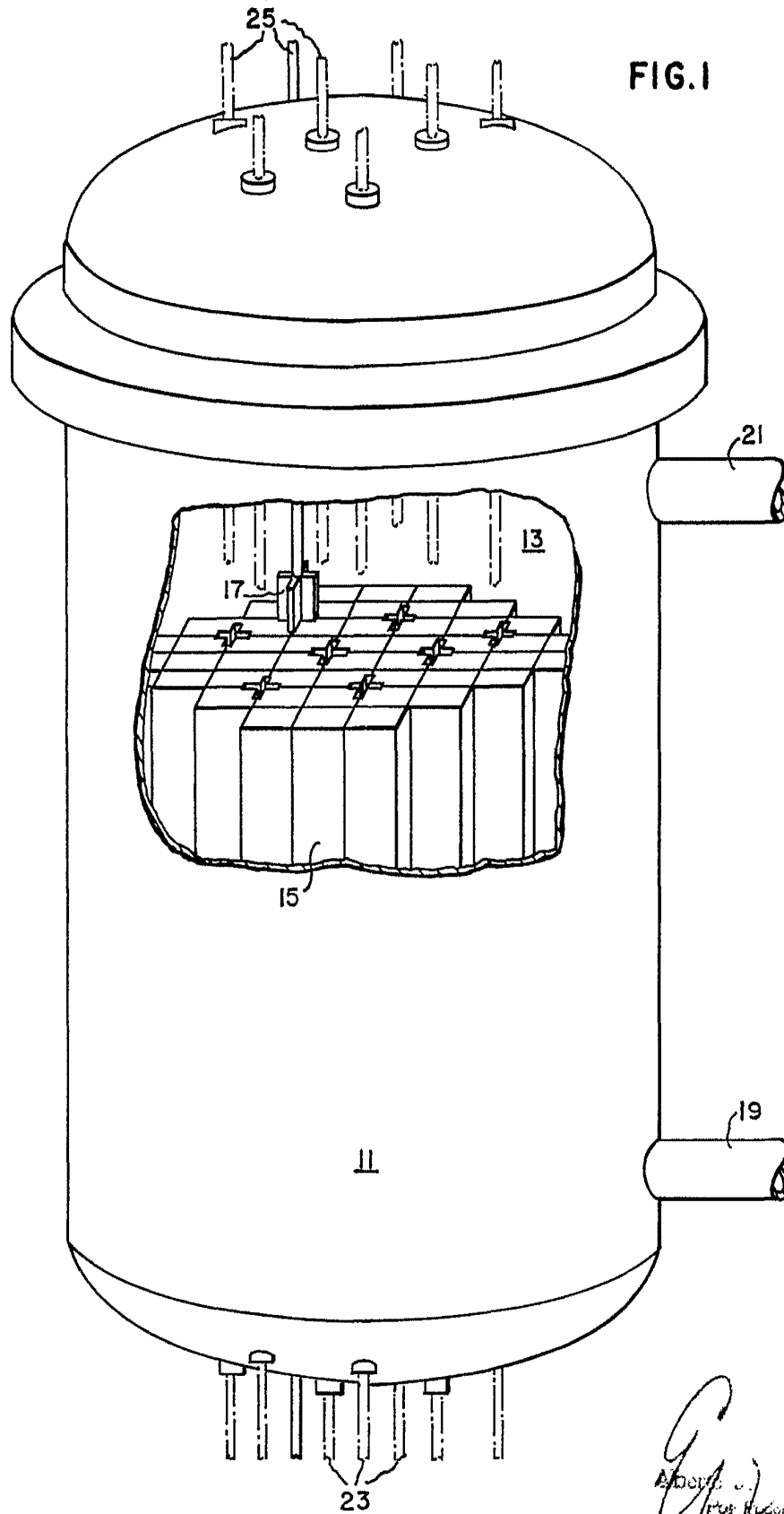
fb.

[Handwritten mark]



322002

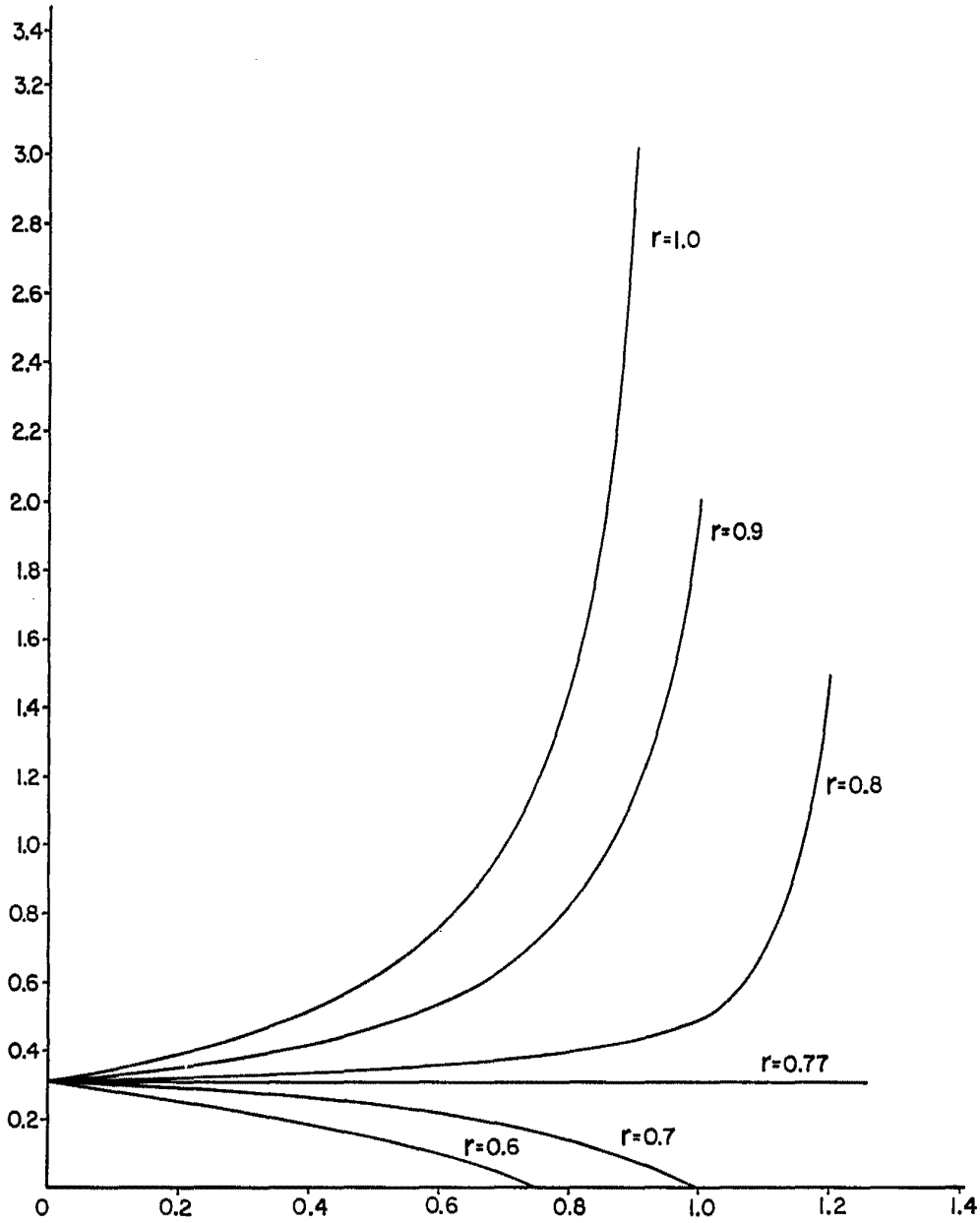
FIG. 1





322002

FIG.2



[Handwritten signature]
FOR P.F.