

MINISTERIO DE INDUSTRIA
REGISTRO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL



ESPAÑA

Concedido el Registro de acuerdo
con los datos que figuran en la pre-
sente descripción y según el con-
tenido de la Memoria adjunta.

(10) ES	(11) NUMERO	(10) A1
(21)	469174	
(22)	FECHA DE PATENTACION	
	26 ABR. 1978	

5 MAR. 1979

PATENTE DE INVENCION

A1 469174 790416 G21C 3/34

(30) PRIORIDADES:	(32) FECHA	(33) PAIS
(31) NUMERO		
Ser. No. 816,401	18.7.1977	U.S.A.

(47) FECHA DE PUBLICIDAD	(61) CLASIFICACION INTERNACIONAL	(62) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	G21C	

(54) TITULO DE LA INVENCION
"CONJUNTO DE ELEMENTO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR INTEGRAL"

(71) SOLICITANTE (S)
THE BABCOCK & WILCOX COMPANY

DOMICILIO DEL SOLICITANTE
161 East 42nd Street, NEW YORK, N.Y. 10017 U.S.A.

(72) INVENTOR (ES)
D. Donald C. SCHLUDERBERG, Ingeniero, Norteamericano.

(73) TITULAR (ES)

(74) REPRESENTANTE
D. MANUEL DE RAFAEL GARCIA

MEMORIA DESCRIPTIVA

La presente invención se refiere a una disposición de conjunto de combustible para utilización en un reactor nuclear y particularmente en un reactor autogenerador rápido que emplea plutonio como combustible y que, como medio refrigerante y moderador, utiliza agua ordinaria o agua pesada a presión.

Teniendo en cuenta la escasez en el mundo de recursos para la obtención de material fisiónable, se han reconocido ampliamente las ventajas que representa la utilización de los reactores nucleares autogeneradores los cuales convierten material fértil en material fisiónable y generan calor, por ejemplo, para producir energía. Resulta realmente interesante el desarrollo de los reactores nucleares autogeneradores que convierten el uranio 238 fértil más abundante en plutonio 239 fisiónable, utilizando este último como combustible, posiblemente junto con plutonio producido en otros reactores conocidos y material de generación más fisiónable que se consume, Dado que se está produciendo un desarrollo tecnológico importante y existe en la actualidad una gran experiencia por lo que respecta al diseño y construcción de instalaciones de reactores a base de agua ligera y de agua pesada a presión, el empleo de la tecnología del agua a presión aplicada a los reactores autogeneradores constituye una atractiva alternativa para el desarrollo de otras opciones en este campo.

El agua pesada, es decir, el óxido de

deuterio (D_2O) tiene esencialmente las mismas propiedades físicas y químicas que el agua ordinaria (H_2O). Sin embargo, sus propiedades nucleares son diferentes, ya que la sección de absorción neutrónica y el decrecimiento energético del D_2O son notablemente inferiores que en el H_2O . Por tanto, en un reactor autogenerador rápido es interesante la utilización de D_2O como medio refrigerante debido a sus características nucleares y a la posibilidad de fácil aplicación de la tecnología de agua a presión. En un sistema de reactor a base de plutonio-uranio-óxido de deuterio ($Pu-U-D_2O$), a medida que disminuye la relación refrigerante-átomo de combustible, aumenta la conversión o relaciones de autogeneración. La relación de autogeneración es la relación entre el número de átomos fisionables y el número de átomos consumidos. En un sistema $Pu-U-D_2O$ se pueden alcanzar relaciones de autogeneración elevadas, que se aproximan a un valor importante de 1,40, si para ello se utiliza una red de barras de combustible nuclear con la que se ajustan las relaciones entre el medio moderador y el volumen de combustible para proporcionar relaciones medio moderador-átomo de combustible de un valor aproximado de 1,0 ó inferior. Como la selección de una relación de medio moderador y átomo de combustible define el volumen de refrigerante por masa unitaria de combustible, puede apreciarse que se presentan dificultades en el diseño de una red de barras de combustible nuclear que sea capaz de proporcionar el paso de un caudal

de refrigerante adecuado con relaciones de medio moderador-combustible bajas. Los elevados caudales necesarios para asegurar una refrigeración del núcleo del reactor adecuada requieren altas velocidades en conductos de flujo que para conseguir una relación medio moderador-combustible baja resultan considerablemente limitadas. En las redes de barras de combustible nuclear muy compactas el empleo de las rejillas separadoras convencionales es desventajoso debido a la limitación en el conjunto compacto de barras de combustible, a la tendencia al flujo por efecto de la vibración de la rejilla separadora, a la absorción parásita del material laminar de la rejilla, y al incremento de la pérdida de presión hidráulica resultante de la introducción de rejillas en los conductos de flujo limitados.

La técnica anterior ha dado a conocer diseños de reactores moderados y refrigerados a base de agua pesada para diámetros y separaciones de "varilla" de combustible particulares dentro de una relación de medio moderador-átomo de combustible que varía entre 0,35 y 4,0 y afirma que se puede conseguir en una red de barras de combustible nuclear, utilizando varillas de combustible dispuestas en contacto en forma triangular. Sin embargo, la reducción del flujo calorífico en el grado necesario para evitar las zonas de mayor temperatura potencialmente destructivas en los puntos de contacto entre las barras de combustible limita extraordinariamente la capacidad

de accionar dicho núcleo para hacerlo funcionar en las condiciones de trabajo del reactor con agua a presión. Por otro lado, la escasa separación entre las barras de combustible puede dar
5 por resultado una obturación producida por las partículas sólidas de que es portador el medio refrigerante y puede hacer que resulten necesarias potencias de bombeo de refrigerante de reactor que resultan elevadas y de obtención cara. Además,
10 tienen lugar otras dificultades evidentes. Por otra parte, la eliminación de rejillas separadoras es conveniente con el fin de permitir las velocidades de flujo de refrigerante más elevadas necesarias para aproximar el medio moderador a
15 las relaciones de átomo de combustible que dan la conversión de relación elevada de la configuración de la varilla de combustible de contacto. Por otro lado, la eliminación de rejillas separadoras puede dar por resultado una separación de espiga
20 de combustible imprecisa, una vibración inducida por el flujo y una refrigeración desigual.

De acuerdo con los principios de la invención, las referidas desventajas de la técnica anterior son superadas satisfactoriamente. Un
25 conjunto de combustible, de acuerdo con la presente invención, utiliza tubos de encamisado en la espiga de combustible provistos de aletas longitudinales y dispuestos de modo que forman un conjunto de combustible integral mediante la
30 soldadura con cobre de aletas continuas o

interrumpidas de una espiga de combustible con las aletas de otras espigas de combustible. El conjunto de espigas de combustible sobresoldadas integralmente satisface las necesidades térmicas e hidráulicas del retículo obligatoriamente muy compacto con objeto de conseguir relaciones de autogeneración elevadas.

De acuerdo con una forma de realización en variante, las aletas de algunas de las espigas de combustible pueden estar directamente unidas a la sección tubular de otras espigas de combustible, de manera que los conjuntos resultantes tienen relaciones de moderador a volumen de combustible que tienden a incrementar la relación de autogeneración en un núcleo de reactor nuclear de Pu-U-D₂O.

Según otra forma de realización de la invención, el núcleo se fabrica con un material sólido y está dotado de conductos que son adecuados para la retención de combustible y para la circulación de refrigerante.

Con la invención se eliminan las desventajas de la técnica anterior mediante la provisión de medios para obtener relaciones de moderador y combustible que conducen a una relación de autogeneración de reactor de Pu-U-D₂O elevada y que al mismo tiempo aseguran una separación precisa entre las espigas de combustible sin que se produzcan las pérdidas parásitas que tienen lugar con el empleo de las rejillas separadoras de la técnica anterior. Además, las disposiciones según la

invención eliminan las pérdidas de presión hidráulica que se producen con las rejillas separadoras convencionales y disminuyen la tendencia a la vibración de las espigas de combustible. Por otra parte, las disposiciones de espigas de combustible con aletas aumentan la resistencia de tales espigas, incrementan notablemente la superficie de transferencia térmica útil y mejoran considerablemente el coeficiente general de transferencia térmica.

Para facilitar la comprensión de la invención se acompañan unos dibujos que ilustran una forma de realización preferida de la misma que se describe con referencia a tales dibujos solamente a título de ejemplo.

En dichos dibujos:

La figura 1 es una sección parcial en planta de un conjunto de combustible;

La figura 2 es una vista en alzado de una parte de una pluralidad de elementos de combustible dotados de aletas y montados de acuerdo con una forma de realización de la invención;

La figura 3 es una vista similar que ilustra una forma de realización en variante de la invención;

La figura 4 es una sección parcial en planta de un conjunto de combustible que comprende elementos de combustible dispuestos de acuerdo con otra forma de realización de la invención; y

La figura 5 es una vista en planta parcial de un dispositivo de núcleo de bloque para un

reactor de baja temperatura.

En los dibujos, las referencias numéricas iguales designan partes iguales o correspondientes.

De conformidad con los dibujos, la figura 1 ilustra parte de un conjunto de combustible nuclear -10- de espigas de combustible -11- dispuestas en forma compacta en una pluralidad con sus ejes longitudinales paralelos. Cada espiga de combustible -11- comprende un encamisado en general tubular -12- provisto de una pluralidad de aletas longitudinales -13- que forman parte de la superficie exterior del encamisado y están separadas circunferencialmente alrededor del mismo. En el interior del encamisado -12- se aloja un combustible nuclear -14- constituido por una mezcla de un material fisionable y fértil. Las espigas de combustible -11- en la figura 1 están dispuestas de manera que el extremo de cada aleta -13A- establece contacto con el extremo de una aleta -13B- de una espiga de combustible yuxtapuesta. Las aletas de las espigas periféricas pueden establecer contacto con la estructura envolvente -15- del conjunto de combustible. Los extremos de las aletas que se ilustran en la figura 1 están unidos entre sí y a la estructura envolvente del reactor por medio de soldadura de cobre en -16- y -17- respectivamente para formar el conjunto de combustible integral.-10-.

En una forma de realización, las aletas -13- se extienden sin interrupción a lo largo

de la superficie longitudinal de los canales -20-
formados en los interespacios de las espigas de
combustible que dirigen flujo refrigerante de
reactor (no ilustrado) en general paralelamente
5 con el eje longitudinal de las espigas. No obstante,
las aletas -13- no se han de extender necesariamente
en forma continua a lo largo de las espigas de
combustible en toda su longitud, sino que pueden
ser aletas interrumpidas -21-, como se ilustra
10 en las figuras 2 y 3, de modo que es posible el
flujo transversal y el entremezclado del refrige-
rante a través de los espacios formados entre las
espigas de combustible. Las aletas axialmente
interrumpidas -21- de las espigas de combustible
15 yuxtapuestas pueden estar unidas entre sí mediante
soldadura de cobre en -22- (figura 2) o, como se
indica en la figura 3, directamente a la porción
tubular de la espiga de combustible en -23-.
También es posible la formación de un conjunto
20 con la combinación de las disposiciones ilustradas
en las figuras 2 y 3, es decir, con aletas en
contacto entre sí y con aletas en contacto con
tubo.

En la figura 4 se representa una disposición
25 de espigas de combustible -26- dotadas de aletas
ensanchadas -24- unidas entre sí por medio de
soldadura de cobre en -25-. Las aletas ensanchadas
se pueden utilizar para limitar más la fracción
de volumen de moderador con cierta disminución
30 de la potencia específica del núcleo.

La eliminación de las rejillas separadoras convencionales y la provisión de aletas como una parte del encamisado del tubo permiten la reducción de la fracción del volumen del moderador del núcleo del reactor hasta valores importantes con la consecución de las relaciones deseadas entre moderador y átomo de combustible. En la tabla I se indican los parametros físicos ilustrativos.

10

TABLA I

Ejemplo	1	2	3
Diámetro de espiga de combustible, mm.	8,89	10,16	10,16
15 Paso de espiga de combustible, mm.	9,91	10,92	10,92
Espesor de encamisado, mm.	0,42	0,50	0,50
Material de encamisado.	Incoloy 800	Acero Inoxidable tipo 316	Acero Inoxidable tipo 316
20 Diámetro de paso, mm.	1,01	0,76	0,76
Número de aletas por espiga	6	3	3
Altura de aleta, mm.	0,50	0,76	0,76
25 Anchura de aleta, mm.	0,50	0,76	0,76
Interrupción de aleta % de longitud	0	0	30
Fracción de volumen de combustible	0,6105	0,6357	0,6357
Fracción de volumen estructural	0,1381	0,1659	0,1541

	Fracción de volumen de refrigerante	0,2514	0,1984	0,2102
	Relación Combustible/ Fracción de volumen de refrigerante	2,43	3,20	3,02
5	Relación Moderador Atomo de combustible	0,82	0,624	0,66

- Las espigas de combustible en los Ejemplos de la Tabla I están constituidas en forma de varillas.
- 10 Las espigas de combustible de los Ejemplos I y 2 están provistas de aletas continuas en toda su longitud. El ejemplo 3 ilustra una variante de realización del Ejemplo 2 en la que las aletas ocupan aproximadamente el 30% de la longitud de las varillas.
- 15 Los valores de las relaciones de moderador a átomo de combustible indicados en la Tabla I se aproximan a las condiciones normales de funcionamiento de reactor de agua sometida a presión, que comprenden temperatura y presión de refrigerante principal,
- 20 forma de pastilla combustible, tolerancias entre las pastillas de combustible y el encamisado y porcentaje de densidad de UO_2 teórica conseguida en la pastilla.

- Los conjuntos de combustible de la Tabla I
- 25 se obtienen con soldadura de cobre al horno en una atmósfera de hidrógeno a una temperatura de $1.065,56^{\circ}C$ a $1.093,33^{\circ}C$ con una aleación de cobresoldadura denominada comercialmente "Nicrobraz 50", utilizando plantillas, dispositivos posicionadores y métodos
- 30 de aplicación de aleación para soldadura de cobre

en la forma conocida en la técnica de la soldadura de cobre al horno.

En otra forma de realización, la figura 5 ilustra una disposición para reactores de baja temperatura adecuados para autogeneración de plutonio y para la generación de calor, por ejemplo para calefacción residencial. En esta forma de realización, un conjunto de combustible está constituido a partir de un bloque -32- metálico, por ejemplo, de una aleación de aluminio. Este bloque presenta unos conductos paralelos -31- de flujo y unos conductos -30- para combustible. Las superficies de los conductos de flujo pueden ser rugosas cuando así sea necesario para aumentar el flujo térmico crítico. En la siguiente Tabla II se indican parámetros para un reactor del tipo de bloque.

TABLA II

	Ejemplo	1	2
20	Diámetro de conducto de combustible, mm.	10,16	8,25
	Paso de conducto de combustible, mm.	12,70	10,16
25	Diámetro de conducto de refrigerante, mm.	3,96	3,17
	Paso de conducto de refrigerante, mm.	12,70	10,16
	Fracción de volumen de combustible	0,503	0,518
	Fracción de volumen de estructura	0,421	0,405

	Fracción de volumen de refrigerante	0,76	0,0766
	Relación Combustible/ Fracción de volumen de refrigerante	6,62	6,76
5	Relación Moderador/ Atomo de combustible	0,44	0,43

La relación de moderador y átomo de
combustible de la Tabla II corresponde a una tempe-
ratura de agua de refrigerante primario de aproxi-
10 madamente $121,1^{\circ}\text{C}$ a baja presión. Los otros parámetros
de proceso son similares a los que se indican en
la Tabla I.

La configuración de los conductos de
refrigerante y combustible del conjunto de combus-
15 tible del tipo de bloque produce un grado de lo
que puede llamarse "probabilidad de escape de mode-
rador" que sirve para reforzar el especto neutróni-
co y mejorar la conversión de núcleo o relación
de autogeneración. Esto ocurre porque los canales
20 de combustible no están rodeados completamente por
moderador. Por tanto, algunos neutrones producidos
en un conducto de combustible pueden pasar a otro
conducto de combustible sin atravesar un volumen
que contenga moderador, con lo cual se mejora la
25 autogeneración o la relación de conversión porque
se incrementa la energía neutrónica media con la que
se produce fisión. Esto, combinado con una relación
moderador y combustible menor que la que se puede
conseguir con espigas de combustible en contacto,
30 proporciona una relación de autogeneración muy alta

para refrigeración con H_2O o con D_2O indistintamente.

En virtud de las relaciones de moderador y átomo de combustible que hacen posible los citados sistemas de conjunto de combustible, se pueden aplicar con la tecnología de agua a presión disposiciones de reactor más rápidas. Esta combinación presenta las ventajas siguientes:

a. Eliminación de refrigerantes a base de gas o metal licuado empleados para reactores rápidos.

b. Reducida temperatura de trabajo en el encamisado.

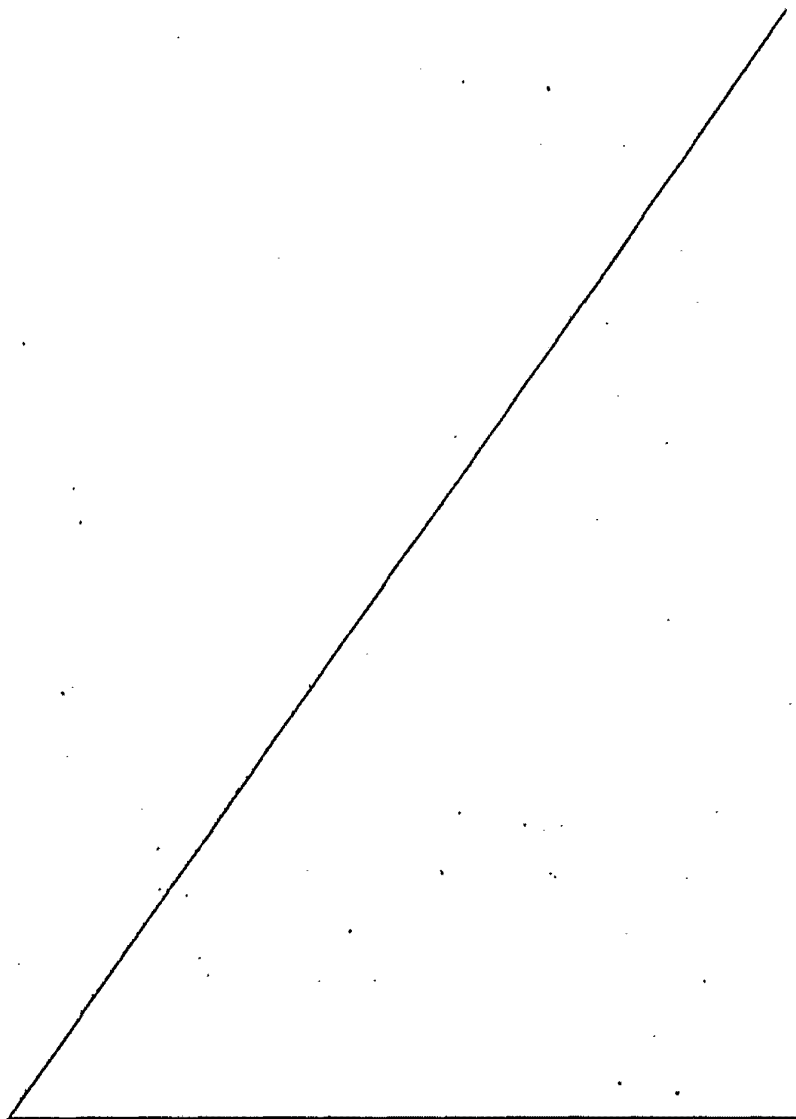
c. Posibilidad de empleo de métodos adicionales de control de reactividad, tales como ajuste de reactividad química y control por desplazamiento espectroscópico.

La posibilidad de emplear métodos adicionales de control de reactividad reduce la dependencia normal de los reactores rápidos con respecto a las varillas de control. Esto permite una reducción general en el coste de las varillas de control necesarias y proporciona un medio para el ajuste continuo del exceso de reactividad hasta un valor mínimo, con lo que se mejora considerablemente la seguridad de los núcleos de reactores rápidos que implicaría el funcionamiento con varillas de coste más alto al exterior del núcleo.

La invención, dentro de su esencialidad, puede ser llevada a la práctica en otras formas de realización que difieran solo en detalle de la indicada únicamente a título de ejemplo, a

las cuales alcanzará igualmente la protección que se recaba. Podrá, pues, realizarse este conjunto con los medios, componentes y accesorios más adecuados, por quedar todo ello comprendido en el

5 espíritu de las siguientes reivindicaciones.



REIVINDICACIONES

Se reivindica como objeto del presente modelo de utilidad, haciendo constar que a todos los efectos pertinentes se invoca la prioridad
5 U.S.A. correspondiente a lá Patente Ser. No. 816,401 de 18.7.1977.

1.- Conjunto de combustible para empleo con un reactor nuclear moderado y refrigerado que trabaja con agua a presión, que comprende un combus-
10 tible nuclear, una pluralidad de espigas de combustible dispuestas con sus ejes longitudinales paralelos en un conjunto muy compacto, cada una de cuyas espigas de combustible comprende un encamisado substancialmente tubular que aloja el combustible nuclear, por
15 lo menos una aleta formada en la superficie exterior del encamisado y que se extiende longitudinalmente por el encamisado, y medios para unir las aletas a espigas de combustible yuxtapuestas para formar un conjunto de combustible integral.

2.- Conjunto de combustible, según la reivindicación 1, en el que los medios para unir las aletas a espigas de combustible yuxtapuestas consisten en soldadura de cobre.

3.- Conjunto de combustible, según la
25 reivindicación 2, en el que las aletas de las espigas yuxtapuestas están unidas entre sí.

4.- Conjunto de combustible, según la reivindicación 3, en el que las aletas se extienden en forma continua a lo largo de las espigas de
30 combustible.

5.- Conjunto de combustible, que comprende un combustible nuclear, según la reivindicación 1, en el que se ha previsto un bloque provisto de una pluralidad de primeros y segundos conductos, cuyos primeros conductos contienen el combustible nuclear, en tanto que los segundos conductos constituyen medios para el flujo de refrigerante a través de dicho bloque.

6.- Conjunto de combustible, según la reivindicación 5, en el que dicho bloque está constituido con una aleación de aluminio.

7.- CONJUNTO DE ELEMENTO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR INTEGRAL.

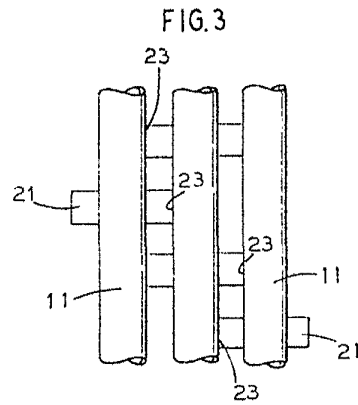
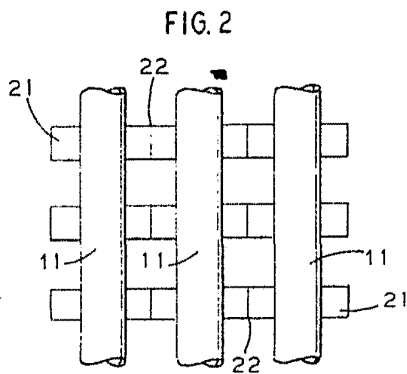
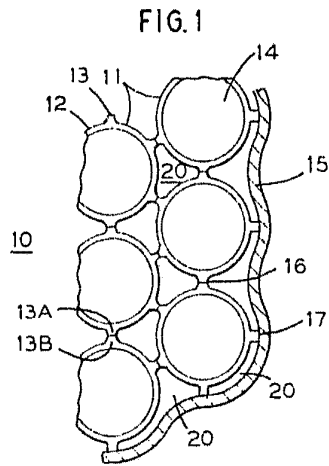
Consta la presente memoria descriptiva de dieciseis hojas mecanografiadas y dos láminas de dibujos.

Madrid, a 26 ABR. 1978

THE BABCOCK & WILCOX COMPANY

p.a.
MANUEL DE RAFAEL

P. P.



Escala variable

Madrid, 26 ABR. 1978
MANUEL DE RAFAEL
P. F. *Lepelewa*

FIG. 4

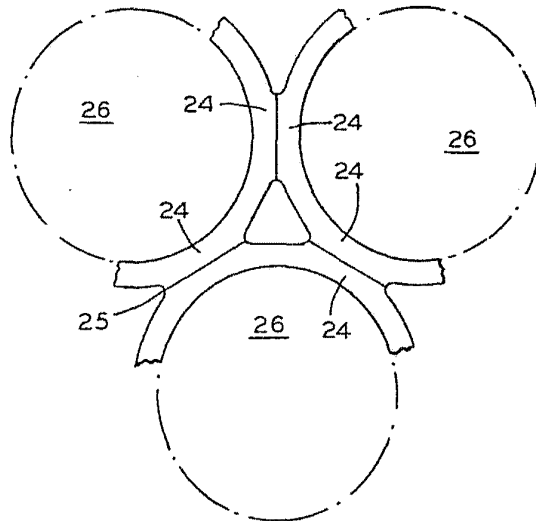
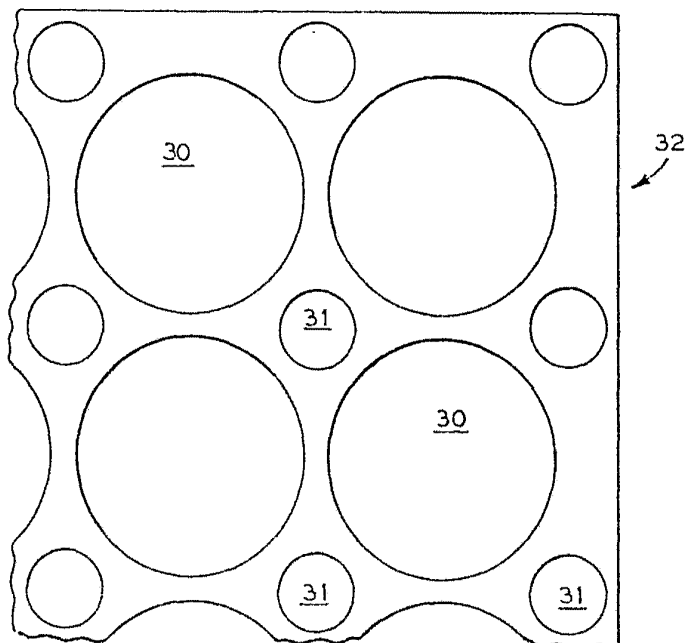


FIG. 5



Escala variable

26 ABR. 1978
MARQUE DE RAFAEL
P. P. *[Signature]*