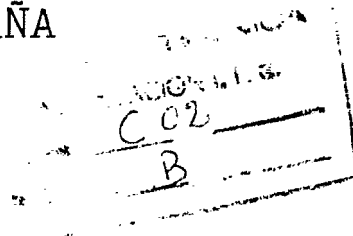


364770

73



MEMORIA DESCRIPTIVA  
DE  
PATENTE DE INVENCION  
EN  
ESPAÑA



por veinte años

a favor de UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION

con domicilio en Germantown, Maryland, EE.UU.

de nacionalidad Norteamericana

por "UN METODO PARA LA DESALINIZACION DEL AGUA DE MAR"

de la que es inventor, los Sres. Devabhaktuni Ramaswami y  
Albert A. Jonke

Reivindicándose prioridad de la Patente depositada en  
los Estados Unidos el 15 de Marzo de 1.968 bajo el nú-  
mero 713.406.

36477013



Compendio de la Invención.

5 Agua de mar atomizada es pulverizada sobre una capa fluidificada de partículas de sal. La evaporación del agua dulce de la superficie de las partículas de sal, deja sal sólida en la capa pero no deja salmuera. Se pueden usar capas múltiples.

Origen Contractual de la Invención.

10 La invención descrita en la presente fué hecha en el curso de o por contrato con la COMISION DE ENERGIA ATOMICA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTE-AMERICA.

Antecedentes de la Invención.

15 Esta invención se relaciona con la desalinización del agua de mar, y, más particularmente, con la desalinización en una capa fluidificada.

20 Existen varios métodos que están siendo investigados para producir económicamente agua dulce a partir de agua de mar. La congelación, la ósmosis inversa, la destilación y la evaporación instantánea o "flash" son algunos de los métodos que están siendo investigados. De estos cuatro, la destilación es la que ha recibido máxima atención. En la destilación, generalmente, el calor es transferido, por medio de una pluralidad de tubos, al agua de mar que rodea los tubos. El agua dulce se evapora en la superficie de contacto con los tubos y es recogida como vapor. La presencia de una fase líquida con-  
25 tigua y la evaporación desde las superficies de los tubos causa varias dificultades.

30 El agua de mar tiene un significativo conteni-



do de minerales que se reúnen como incrustaciones en las superficies de los tubos. Las incrustaciones disminuyen la transferencia de calor a través de los tubos y pueden ocasionar corrosión. En la destilación, conforme se va extrayendo agua dulce del agua de mar, se produce una solución concentrada de salmuera la cual es corrosiva y, por lo tanto, dañina para el equipo. La salmuera es también un contaminante y es costosa su eliminación.

Además de las incrustaciones, corrosión y contaminación antes mencionadas, la capacidad de producción de agua dulce en la destilación depende de la velocidad de vapor del vapor de agua conforme se mueve a lo largo del sistema. La velocidad de vapor depende del área de transferencia de calor, la cual es determinada por el número y tamaño de los tubos. Es difícil aumentar la velocidad de vapor debido al número y tamaño de los tubos que no se pueden cambiar fácilmente. Además de la velocidad de vapor, fija y relativamente baja, en la destilación, el medio calefactor dentro de los tubos está restringido a una temperatura comparativamente baja. Durante la evaporación se forma una película de líquido sobre la pared del tubo y la película así como otros factores disminuyen la transferencia de calor y evitan que el agua de mar llegue a un equilibrio térmico con el medio calefactor. Se establece una gradiente de temperatura a través de las paredes de los tubos, lo cual produce un esfuerzo térmico relacionado con la temperatura del medio calefactor. Para mantener el gra-



diente de temperatura y por lo tanto el esfuerzo  
térmico dentro de límites aceptables, el medio ca-  
lefactor está restringido a temperaturas comparati-  
vamente bajas. Comúnmente se usa vapor de agua de  
5 bajo valor, a una presión de alrededor de 2,8 a 3.5  
kg/cm<sup>2</sup>.

El procedimiento de la invención evita o amino-  
ra muchas de las desventajas antes enumeradas, porque  
se evapora el agua de mar desde una capa fluidificada.  
10 El agua de mar atomizada que constituye solamente  
un pequeño porcentaje (menos de 20% y usualmente alre-  
dedor de 10%) del peso de la capa, es pulverizada la  
capa. Debido a que el porcentaje de agua en el sis-  
tema en cualquier momento es pequeño, no será presen-  
15 te una fase líquida continua. Aunque la capa fluidi-  
ficada es calentada por intercambio de calor a tra-  
vés de tubos como en la destilación, la capa fluidifi-  
cada y el medio calefactor dentro de los tubos están  
esencialmente en equilibrio térmico, por lo cual hay  
20 muy poco o ningún gradiente de temperatura a través de  
las paredes de los tubos. La evaporación del agua de  
mar es principalmente desde las partículas de la capa;  
pero cualesquiera incrustaciones que se depositen en  
las paredes de los tubos por la evaporación de la mis-  
25 ma, es removida por la acción abrasiva de las partícu-  
las de la capa que están en contacto con las paredes  
de los tubos. Al haber menos incrustaciones en las pa-  
redes de los tubos se tiene como resultado menos co-  
rosión y mejor transferencia de calor a la capa.

30 Un aspecto importante de esta invención es que



las partículas de la capa son el medio calefactor  
-primario para el agua de mar; por lo tanto, la su-  
perficie total del medio calefactor puede ser contro-  
lada variando el tamaño de las partículas y de la ca-  
5 pa. Una mayor superficie significa velocidad de va-  
por aumentada y mayor capacidad de producción de agua  
dulce. Debido a que el aumento en la temperatura del  
medio calefactor no aumenta el gradiente de temperatura  
a través de las paredes de los tubos, está disponible  
10 una selección mucho mayor de medios calefactores para  
ser usados en una capa fluidificada. Por ejemplo, el  
medio calefactor puede ser vapor de agua, de bajo va-  
lor, a  $28 \text{ kg/cm}^2$ ; o vapor de agua a  $17,5 \text{ kg/cm}^2$ ; o el  
refrigerante de sodio-potasio de un reactor reproduc-  
15 tor. Esta versatilidad es particularmente ventajosa  
cuando la planta de desalinización está combinada con  
una planta de energía nuclear y el medio calefactor  
para la planta de desalinización es vapor de alto va-  
lor tomado de los generadores de turbina.

20 Sumada a las ventajas antes descritas, la evapo-  
ración del agua de mar a partir de una capa fluidifi-  
cada, da origen a otra ventaja más. Dado que la eva-  
poración tiene lugar en las partículas de la capa, to-  
da el agua de mar puede ser evaporada y se produce sal  
25 sólida que puede ser recuperada de la capa. No hay pre-  
sente salmuera que cause corrosión y contaminación,  
porque toda el agua de mar es convertida en agua dul-  
ce. Una ventaja final sobre la destilación es que se  
usa menos agua de mar para producir una cantidad uni-  
30 taria de agua dulce.



Esta invención podrá ser mejor comprendida con referencia a los siguientes dibujos y ejemplos.

Breve descripción de los dibujos.

5 El dibujo único es un esquema para la ejecución de esta invención.

Una serie de reactores de capa fluidificada 10a, 10b, 10c, 10d son utilizados en la ejecución de esta invención; pero para mayor claridad solamente se describirá un sólo reactor cuando sea posible. El reactor 10a está compuesto de una sección de fondo 12a cónica conectada a una sección de fluidificación 14a cilíndrica ahusada que tiene un diámetro creciente. Una sección de transición 16a frustrocónica está intermedia a la sección de fluidificación 14a cilíndrica ahusada y a una sección de desprendimiento 18a, cilíndrica de gran diámetro. El reactor 10a está cubierto por una tapa 19a. Una salida 20a para el producto sólido está ubicada en el ápice 22a de la sección de fondo 12a cónica y una entrada 24a para gas fluidificante está situada cerca del ápice de la sección de fondo cónica. Un cambiador de calor 26a está situado dentro de la sección de fluidificación 14a cilíndrica ahusada. Una entrada 28a de agua de mar está conectada a una fuente de agua de mar 30a y a una fuente de vapor 32a y entra al reactor 10a por la sección fluidificante 14a cilíndrica ahusada. Una salida para vapor 34a conduce desde la tapa 19a del reactor 10a a través de un filtro 36a hasta el cambiador de calor 26b en el reactor 10b. Una salida 38b para agua dulce conduce desde el cambiador de calor 26b y una salida para agua



dulce 40 está conectada al filtro 36d.

En el funcionamiento, se establece una capa fluidificada en la sección de fluidificación 14a cilíndrica ahusada del reactor 10, pasando un gas fluidificante hacia dentro del reactor por la entrada 24. La capa puede estar compuesta de muchos materiales tales como arena, alúmina, sal o combinaciones de los mismos, pero se prefiere la sal. Dado que se produce sal durante el proceso, puede ser fácilmente recuperada si la capa está compuesta inicialmente por sal. El gas fluidificante puede ser aire, vapor de agua u otros gases pero es preferible el vapor de agua porque es un gas condensable. La capa es calentada pasando un medio calefactor a través del cambiador de calor 26 y, como se expresa anteriormente, hay una gran variedad de medios calefactores que pueden ser utilizados. El agua de mar es atomizada y pulverizada hacia la capa por la entrada 28. Aunque el agua de mar puede ser atomizada y pulverizada sobre la capa por sí sola, un sistema de dos fases de agua de mar y vapor produce una mejor atomización del agua de mar y es preferido para capas de gran diámetro. Una pluralidad de entradas 28 puede ser utilizada en cualquier reactor 10 para obtener una distribución uniforme del agua de mar atomizada en la capa. El agua de mar rociada hacia la capa, moja ligeramente las partículas de la misma y luego se evapora de la superficie de dichas partículas. Cuando se evapora el agua de mar, deja sal tras de ella, la cual puede ser recuperada para tratamiento adicional o para su venta.



731

Dado que no hay fase líquida continua en el reactor 10, se evitan mayormente los problemas relacionados con incrustaciones, corrosión y contaminación. El agua que se evapora desde las partículas de la capa es agua dulce y es conducida por la salida de vapor 34 al filtro 36 en donde son separadas cualesquiera partículas de la capa conducidas por el vapor. El vapor desde el filtro 36 pasa al siguiente cambiador de calor 26 en la serie de reactores 10. Cuando el vapor ha pasado por el cambiador de calor 26, es recogido en la salida de agua dulce 38. El último filtro 36 conectado al último de la serie de reactores 10 está provisto con la salida de agua dulce 40.

Los reactores 10 están ahusados, con el diámetro mayor en la parte superior a fin de proveer presión constante dentro del reactor conforme el vapor sube dentro del mismo. Conforme se eleva el vapor dentro del reactor 10, la producción de vapor de la capa y la disminución en la columna de presión normalmente daría por resultado una presión aumentada. El diámetro creciente de la sección ahusada 14 mantiene una presión más uniforme en todo el reactor 10. El número de reactores 10 en la serie depende de los factores económicos y del tipo de medio calefactor disponible.

Se han efectuado varios experimentos para mostrar la factibilidad de evaporación de agua de mar desde una capa flúida. Los experimentos fueron efectuados en una capa fluidificada de 152 mm. de diáme-

tro, la cual fué provista con calefactores eléctricos externos. Por lo tanto, no se tenía disponible una gran área para transferencia de calor, Debido a que el área para transferencia de calor era pequeña, los regímenes de evaporación fueron correspondientemente bajos. En un reactor para producción, la capa fluidificada sería del orden de 6.08 metros de diámetro y de 6.08 metros de altura, con lo cual el área de transferencia de calor sería bastante grande.

5

10 Las capas consistieron en sal o arena y fueron fluidificadas ya fuere con vapor o con aire. El agua de mar fué rociada hacia las capas, sola y en combinación con aire. En un reactor para producción, el vapor sería preferible en vez de aire, porque el vapor es condensable. Los datos acopiados con estos experimentos, se presentan en la Tabla I,

15



TABLA I

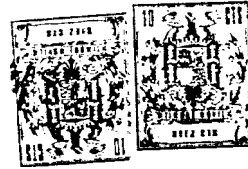
Capa fluida inicial: NaCl. Gas fluidificante: vapor. Alimentación de líquido: agua de mar, salvo indicación en contrario.

Prueba No	Gama Temp. de Capa, °C.	Tiempo de la Prueba, Horas	Peso inicial de la Capa, Kilos	Velocidad del Vapor, cms/segundo	Alimentación, ml/seg.	% de Finos en Capa Final	Comentarios
5	200	6.0	7.0	1.1 <sup>2</sup>	13.3	-	
	200	5.0	7.0	2.3	22.7	-	Terminada prematuramente debido a dificultades con el funcionamiento.
	200	3.0	7.0	2.3	26.0	-	" " " " " "
	200	6.0	7.0	2.3	22.2	-	" " " " " "
10	200	5.0	7.0	2.2	33.0	-	Grandes cantidades de finos
	200-172	6.0	7.0	2.0	35.0	9.7	No hubieron tendencias aparentes a la mojadura.
	192-154	6.0	7.0	2.1	33.0	6.4	" " " " " "
	205-136	5.8	7.0	2.1	33.0	7.5	Señales de mojadura de la capa a 144°C; mojadura total a 139°C.
	174-141	5.0	7.0	2.1	39.0	2.5	Señales de mojadura de la capa a 141°C; funcionamiento no fué suave a 144°C.
15	Dificultades con el funcionamiento				18.0	N.D.	Mojadura total a 142°C; posteriormente, no se logró capa seca.
	179-142	4.5	6.7	2.1			
20	Dificultades con el funcionamiento				18.0	N.D.	Capa mojada a 140°C.
	193-150	5.0	10.0	2.1	19.0	24.9	Dificultades con la boquilla de aire a 160°C; no hubieron indicaciones de mojadura.
	199-166	5.8	10.0	2.1	37.0	4.7	No hubieron indicaciones de mojadura
	173-151	6.0	10.0	2.1			
25	Alimentación de líquido: Solución de NaCl al 3.5%				38.0	5.7	Obstrucción de la boquilla de aire a 154°C; señales de mojadura de la capa a 148°C.
	El gas fluidificante fué aire				85.0	16.4	Señales de mojadura de la capa a 157°C.
	171-138	4.5	10.0	2.3			
	196-151	5.5	10.0	2.8			
	Alimentación de líquido: Solución de NaCl al 3.5%						
	El gas fluidificante fué aire.						

TABLA I

Capa fluida inicial: NaCl. Gas fluidificante: vapor. Alimentación de

	<u>Prueba Nº</u>	<u>Gama Temp. de Capa, °C.</u>	<u>Tiempo de la Prueba, Horas</u>	<u>Peso inicial de la Capa. Kilos</u>	<u>Velocidad del Vapor. cms/segundo</u>	<u>Vo Al ml</u>	
5	4 <sup>1</sup>	200	6.0	7.0	1.1 <sup>2</sup>		
	5 <sup>1</sup>	200	5.0	7.0	2.3		
	6 <sup>1</sup>	200	3.0	7.0	2.3		
	7 <sup>1</sup>	200	6.0	7.0	2.3		
	8 <sup>1</sup>	200	5.0	7.0	2.2		
10	9 <sup>1</sup>	200-172	6.0	7.0	2.0		
	10 <sup>1</sup>	192-154	6.0	7.0	2.1		
	11 <sup>1</sup>	205-136	5.8	7.0	2.1		
	12	174-141	5.0	7.0	2.1		
	13	Dificultades con el funcionamiento					
15	14	179-142	4.5	6.7	2.1		
	15	Dificultades con el funcionamiento					
	16	193-150	5.0	10.0	2.1		
	17	199-166	5.8	10.0	2.1		
	18	173-151	6.0	10.0	2.1		
20	<u>1/</u>	Alimentación de líquido: Solución de NaCl al 3.5%					
	<u>2/</u>	El gas fluidificante fué aire					
	19	171-138	4.5	10.0	2.3		
	20	196-151	5.5	10.0	2.8		
25	<u>1/</u>	Alimentación de líquido: Solución de NaCl al 3.5%					
	<u>2/</u>	El gas fluidificante fué aire.					



de Líquido: agua de mar, salvo indicación en contrario.

<u>Volumen de Alimentación.</u> <u>ml/seg.</u>	<u>% de Finos en Capa Final</u>	<u>Comentarios</u>
13.3	-	
22.7	-	Terminada prematuramente debido a dificultades con el funcionamiento.
26.0	-	" " " " "
22.2	-	
33.0	-	Grandes cantidades de finos
35.0	9.7	No hubieron tendencias aparentes a la mojadura.
33.0	6.4	" " " "
33.0	7.5	Señales de mojadura de la capa a 144°C; mojadura total a 139°C.
39.0	2.5	Señales de mojadura de la capa a 141°C; funcionamiento no fué suave a 144°C.
18.0	N.D.	Mojadura total a 142°C; posteriormente, no se logró capa seca.
18.0	N.D.	Capa mojada a 140°C.
19.0	24.9	Dificultades con la boquilla de aire a 160°C; no hubieron indicaciones de mojadura.
37.0	4.7	No hubieron indicaciones de mojadura
38.0	5.7	Obstrucción de la boquilla de aire a 154°C; señales de mojadura de la capa a 148°C.
85.0	16.4	Señales de mojadura de la capa a 157°C.



Los primeros tres experimentos no se incluyen en la Tabla I pero fueron similares a las pruebas 4-7. Las capas fueron arena y fueron fluidificadas con ya sea aire o vapor. No se produjo aglomeración. Después de haber terminado los experimentos en las pruebas 4, 5 y 7, las capas finales fueron pasadas por tamices para determinar la distribución por tamaño de partículas. El análisis con los tamices aparece en la Tabla II.

10

TABLA II  
ANALISIS CON TAMICES DE LAS CAPAS DE CLORURO DE SODIO  
INICIALES Y FINALES

	Retenido en	Capa Inicial Típica, %	Capas finales		
			Prueba 4	Prueba 5	Prueba 7
15	40 malla	42.0	19.5	7.7	30.1
	60	13.3	22.0	6.3	14.0
	80	13.1	19.9	10.7	13.7
	120	17.0	22.1	17.6	18.6
20	170	10.0	15.1	17.8	13.0
	200	1.2	1.2	3.7	1.9
	bandeja	3.0	0.3	26.1	9.1

Se puede ver con referencia a las Tablas que las pruebas hasta la No. 8 fueron isotérmicas, mientras que las pruebas 9 a 20 no lo fueron. Empezando con la prueba 9, fueron establecidas condiciones de equilibrio a alrededor de 200°C. Luego, se permitió que la temperatura descendiera lentamente. Se anotaron las temperaturas de las paredes y de la capa para ver si existían pa-

30



trones anormales y fueron vigiladas las características de fluidificación de la capa mediante mediciones de patrones de temperatura y presión. En el funcionamiento normal, la diferencia en temperatura entre la pared del reactor y la capa fluidificada fué razonablemente constante. La primera indicación de mojadura de la capa fué usualmente un aumento en esta diferencia en la temperatura. Una segunda indicación de mojadura de la capa fué una disparidad en la temperatura entre la parte superior y la inferior de la capa y una tercera indicación de mojadura de la capa fué una pérdida de fluidificación.

La mejor atomización del agua de mar fué producida a volúmenes intermedios de alimentación de alrededor de 38 mililitros por minuto. Este volumen de alimentación también produjo las mínimas cantidades de finos en cualquiera de las pruebas. Las capas no se aglomeraron durante ninguna de las pruebas, de modo que no se degradaron las características de transferencia de calor.

Se puede tomar como ejemplo para producción una planta de desalinización para 4.16 millones de litros por día (ml/pd) que utiliza cuatro capas fluidificadas. Las capas fluidificadas tendrían 6.08 metros de diámetro y 6.08 metros de altura. Cada recipiente de reactor tendría una superficie total para transferencia de calor de 1635.04 metros cuadrados o sean 3.520 tubos, de 25.4 mm. de diámetro por 6.08 metros de longitud. Los tubos de transferencia de calor ocuparían alrededor de 7% del volumen del recipiente. La veloci-



dad de vapor del vapor de agua para este sistema sería de alrededor de 76 cms/segundo.

Si el medio calefactor en el primer reactor fuera vapor a baja presión que viniere de un generador a alrededor de  $2.74 \text{ kg/cm}^2$  aproximadamente, entonces la temperatura de la primera capa fluidificada sería de alrededor de  $129^{\circ}\text{C}$ . El vapor que se evaporaría de la primera capa estaría a alrededor de  $110^{\circ}\text{C}$ ., el vapor de la segunda capa estaría a alrededor de  $89^{\circ}\text{C}$ ., el vapor de la tercera capa estaría a alrededor de  $69^{\circ}\text{C}$  y el vapor de la cuarta capa estaría a alrededor de  $49^{\circ}\text{C}$ ., El último reactor tendría que ser operado a presión reducida para mejorar los regímenes de evaporación y evitar la mojadura de la capa. La cantidad de agua dulce producida con los cambiadores de calor sería alrededor de 1.17 ml/pd en el segundo cambiador de calor; de alrededor de 1.09 ml/pd del tercer cambiador y alrededor de 0.98 ml/pd del cuarto cambiador. En la cuarta capa se evaporarían alrededor de 0.91 ml/pd adicionales.

Debe quedar entendido que los valores dados dependen de la capacidad deseada de la planta, el tipo de medio calefactor disponible y de otras consideraciones físicas. La invención no está limitada al uso de cuatro reactores ni al uso de un medio calefactor en particular.

Debe quedar entendido que la invención no estará limitada a los detalles expuestos en la presente, sino que puede ser modificada dentro del alcance de las cláusulas reivindicatorias siguientes:



N O T A

Se reivindican como propios y nuevos para que sean objeto de una Patente de Invención en España. por veinte años, reivindicándose la prioridad de la Patente depositada en los Estados Unidos el 15 de  
5 Marzo de 1.968, bajo el N° 713.406, los puntos siguientes:

1.- Un método para la desalinización del agua de mar, que comprende rociar agua de mar atomizada  
10 sobre una capa fluidificada caliente, mediante lo cual se evapora agua dulce de la misma y se produce sal que permanece en la citada capa y, retirar el agua dulce del sitio de la capa.

2.- Un método según la reivindicación 1, en el  
15 cual la capa fluidificada consiste esencialmente en partículas de sal y es fluidificada pasando vapor de agua hacia arriba a través de ella.

3.- Un método según la reivindicación 2, en el cual el agua de mar es atomizada con vapor.

20 4.- Un método para producir agua desalada y sal sólida que comprende establecer y mantener una serie de capas fluidificadas consistentes esencialmente en partículas de sal; calentar esas capas, pulverizar agua de mar atomizada en las capas, mediante lo cual  
25 el agua desalada se evapora de las mismas y se produce sal sólida que permanece en las capas y separar el agua desalada de ellas.

5.- Un método según la reivindicación 4, en el cual el agua desalada se evapora de las capas en forma de vapor de agua y comprendiendo adicionalmente la  
30



etapa de calentar la primera capa de la serie desde una fuente independiente, y calentar posteriormente cada capa pasando vapor de agua desde la precedente en relación de intercambio de calor con ella.

5. 6.- UN Método, según la reivindicación 5 en el cual las capas son fluidificadas pasando vapor de agua hacia arriba a través de ellas y el agua de mar es atomizada con vapor.

10 7.- UN METODO PARA LA DESALINIZACION DEL AGUA DE MAR.

Todo conforme se describe en la Memoria que antecede, se ilustra como ejemplo de ejecucion en los planos unidos a ella y se reivindica en su NOTA.

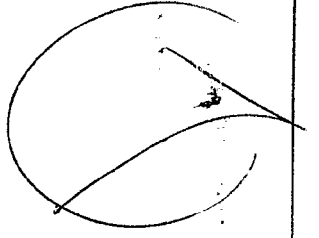
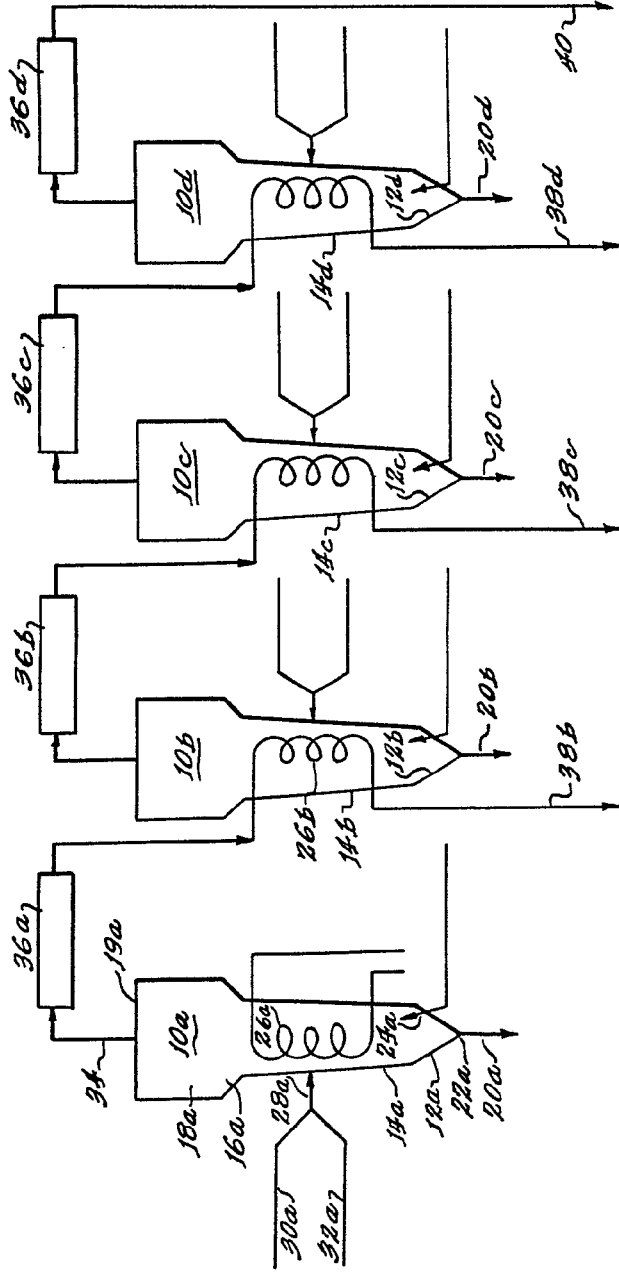
15 Esta Memoria consta de diez y seis hojas foliadas y escritas a máquina por una sola cara y planos que la acompañan.

Madrid, 13 de Marzo de 1.969

UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION

P. A.

364770



364770

