



335922

21 EN

PATENTE DE INVENCION

MEMORIA DESCRIPTIVA

Sobre:

" SISTEMA DE CONTROL DE REACTIVIDAD POR CAMBIO ESPECTRAL EN UN REACTOR DE NEUTRONES RAPIDOS REFRIGERADO POR METAL LIQUIDO "

Solicitante: UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION, domiciliada en GERMANTOWN, MARYLAND (U. S. A.). Entidad estadounidense.

Inventor: Mr. Warren E. WINSCHÉ

335922

21E



La invención aquí descrita tuvo lugar en el transcurso de, o bajo, un contrato con la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos.

5. La presente invención se refiere al control de un reactor de fisión nuclear rápida ejercido mediante la regulación del espectro de neutrones en la sección transversal del refrigerante.

10. En un reactor nuclear de diseño común, es ejercido el control sobre la salida del mismo variando la cantidad de reductores de reactividad neutrónicos presentes en el núcleo en un momento determinado. Generalmente, los vástagos de control realizan esta función al ser situados ajustablemente en el núcleo y con respecto a éste.

15. Una de las desventajas asociadas con las secciones de la varilla del reductor de reactividad en el control del funcionamiento del reactor, es que resultan de su empleo unas ineficiencias notables. Las secciones del reductor de reactividad de las varillas de control dan lugar a la formación de depresiones de potencia en todo el núcleo, lo que exige la provisión de cantidades excesivas de reactividad para que pueda ejercerse el control. Como consecuencia también de esta disposición, el combustible debe ser sustituido por combustibles fresco mucho antes de que se alcance la terminación de la combustión teórica máxima para poder ejercer el control durante todo el periodo de operación. Por esto, el reactor requiere al principio un gran exceso de reactividad, en tanto que la utilidad del núcleo se termina mucho antes debido a la presencia de las secciones de la varilla del reductor de reactividad. Otras desventajas asociadas con el empleo de las varillas de control son las relacionadas con las perturbacio-

20.

25.

30.



335922

nes por fusión, que dan lugar a una falta de uniformidad en la generación de potencia en todo el núcleo, y a los problemas que presenta algunas veces el agarrotamiento de las varillas de control o a la posibilidad que pueda producirse tal

5. agarrotamiento.

Como resultado de las desventajas antes citadas, se ha propuesto, para el reactor térmico refrigerado por agua, un control de cambio espectral, en el cual, el fluido moderador, que actúa también como refrigerante, es alterado durante

10. la operación para efectuar un cambio en sus características moderadoras. Así, se ha sugerido el empleo de una mezcla de agua pesada y agua ligera, cuya relación mutua puede ser alterada para conseguir un control de reactividad, a término relativamente largo, sobre el reactor.

15. Los recientes avances en la técnica de los reactores nucleares han puesto de manifiesto conceptos por los que los reactores rápidos enfriados con metales líquidos poseen capacidad reproductora, lo que puede representar el próximo y mayor salto adelante en la tecnología de los reactores. Como

20. quiera que los reactores rápidos no utilizan materiales moderadores en extensión apreciable para influir o producir reactividad dentro del núcleo, no parece, al menos en principio, que resulte aplicable el concepto de control por cambio espectral a este reactor para vencer las limitaciones impuestas por

25. la presencia de las secciones de la varilla del reductor de reactividad para el control del reactor.

Uno de los reactores típicos, rápidos, propuesto es uno en el cual el sodio líquido actúa como refrigerante, como por ejemplo el mostrado en la Patente U. S. nº 3.140.235 concedida a Hatch y otros. El metal sodio líquido presenta exce-

30.



335922

lentes características de transferencia de calor y tiene poco efecto moderador sobre los neutrones rápidos, así como otras características convenientes que lo hacen apropiado para su empleo en reactores rápidos. Sin embargo y lo mismo

5. que en otros reactores de fisión nuclear, con objeto de alargar la vida de las cargas nucleares y permitir el control necesario del reactor a corto y largo término, es necesario proveer varillas de reductor de reactividad para absorber los neutrones excedentes en cualquier momento dado.

10. Un reactor rápido con capacidad reproductora, contiene ambas clases de material: fértil y fisible. En el transcurso de la operación del reactor, la relación mutua entre estos materiales puede cambiar cuando el material fisible se va gastando y el material fértil se convierte en fisible. Co-

15. mo resultado de esto, cambiará la reactividad del reactor. Si la relación de captura del material fértil para fisión en el material fisionable es ajustada a estas nuevas condiciones, la reactividad puede mantenerse constante incrementando o decreciendo la absorción relativa en el material fértil. De

20. esta forma, en vez de absorber los neutrones excedentes en el reductor de reactividad de una varilla de control, éstos pueden ser absorbidos en forma útil de acuerdo con las cantidades necesarias para mantener el estado crítico. Para cada una de las etapas a través de las cuales pasa el reactor

25. en su exposición, puede proveerse el espectro óptimo de neutrones para la máxima utilización del material fértil y fisionable.

Resulta así evidente que tal control espectral de alta temperatura, en reactores nucleares enfriados con metal

30. líquido, si es factible, representa una atractiva posibilidad

335922

21



para una mayor economía en neutrones y un control simplificado del reactor.

- La presente invención hace posible por vez primera el adaptar el principio de control por cambio espectral a un
5. reactor de fisión rápida refrigerado por un metal líquido. De acuerdo con esta invención, se disuelven pequeñas cantidades de un material adecuado en el metal líquido para que la sección transversal neutrónica del refrigerante pueda ser alterada con objeto de efectuar los cambios deseados en la reactividad del núcleo. En una realización preferida de la invención, en la que se utiliza el sodio como líquido refrigerante se disuelven cantidades pequeñas y variables de litio para
10. alterar el efecto del refrigerante sobre los neutrones y producir cambios en la reactividad. La cantidad de litio presente en el sodio es regulada efectivamente para obtener la cantidad exacta de la apropiada clase de características de moderación o de absorción requeridas en cualquier momento dado. Se utiliza un aparato en el cual se controlan las cantidades relativas de sodio y litio en la solución, y en una forma que
15. se ha hecho posible por el sistema de fase litio sodio.

- Este tipo de control proporciona mayor uniformidad distribuyendo mejor el material controlador de reactividad por todo el núcleo del reactor. Esto reduce las necesidades de varillas de control y de sus canales, con lo que se tiene una mayor flexibilidad y libertad en el diseño de reactores compactos. Como quiera que las secciones de la varilla de control del reductor de reactividad dan lugar a perturbaciones en la potencia general, según se dijo antes, la reducción en el número de varillas acopladas en el funcionamiento
25. a plena potencia del reactor, con la mayoría de las varillas
- 30.

335922

21E



restantes retiradas del núcleo, da lugar a una más económica y más eficiente utilización del combustible. Las reducidas perturbaciones de potencia permiten que la combustión media del combustible se aproxime mucho más al máximo permisible,

5. con el correspondiente incremento en la vida del núcleo, a la vez que la mejor distribución de potencia da lugar a una densidad más alta para unas dimensiones dadas de núcleo. Así, este control resultará especialmente útil en los reactores aplicados para estaciones centrales generadoras de energía

10. con reactores muy grandes rápidos refrigerados con sodio y reactores térmicos reproductores. Otra ventaja de esta invención reside en la sustitución de los voluminosos y complejos controles mecánicos y eléctrico por el control concentrado de reactividad, de lo que resulta un control más simple y seguro

15. con menores probabilidades de fallo y que exige un mantenimiento reducido. Esto reviste capital importancia en los reactores comandados a distancia, tal como los utilizados en las aplicaciones espaciales, los cuales deben funcionar desatendidos durante largos periodos de tiempo.

20. Así, constituye un primer objeto de esta invención la provisión de control espectral para un reactor de fisión nuclear rápida.

Otro objeto es la provisión de control espectral para un reactor de fisión de neutrones rápidos refrigerado por

25. metal líquido.

Es todavía otro objeto de la invención la provisión del control para un reactor de fisión nuclear sin establecer excesivas perturbaciones en el flujo de neutrones.

Un objeto más de esta invención es regular la sección transversal de neutrones de un metal líquido.

30.

335922

21E



Otros objetos y ventajas de la presente invención serán apreciados fácilmente en la descripción que sigue de una realización preferida de esta invención realizada en conjunción con los dibujos que se acompañan, en los cuales:

5. La Figura 1 es un gráfico que ilustra los efectos de reactividad y reproducción del litio en un reactor de neutrones rápidos refrigerado por sodio líquido.

La Figura 2 es el diagrama de fase para el sistema binario sodio-litio.

10. Y la Figura 3 es un esquema típico de bloques mostrando la dirección del flujo y la forma en que los principios de esta invención son aplicables al control de un reactor de fisión nuclear.

15. De acuerdo con una realización preferida de esta invención, se provee a un reactor de neutrones rápidos, refrigerado por sodio, de cantidades controladas de litio disuelto en el sodio para alterar la sección transversal de neutrones del refrigerante. La efectividad de tal control se ilustra en el gráfico de la Figura 1, en el que se muestra el contenido de litio en el sodio con relación al cambio de reactividad y cambio en la relación de reproducción. Puede verse que la adición de litio reduce la reactividad del sistema debido al ablandamiento del espectro producido por el incremento de poder moderador del litio de bajo peso atómico más las absorciones incrementadas en el isótopo Li^6 que supone el 7% aproximadamente de la que origina naturalmente el litio.
- 20.
- 25.

30. El efecto del sodio sobre los neutrones emitidos en el proceso de fisión, varía con los niveles de energía de los neutrones que componen el flujo de neutrones. Este



335922 21 ENE

efecto puede ser dividido en dispersión inelástica de neutrones, dispersión elástica de neutrones y absorción de neutrones, entre otros tipos específicos de efectos que se han reconocido. Estos efectos se miden en términos de sección transversal, la cual es la medida de la probabilidad de que pueda producirse un suceso determinado. Con la adición del litio, queda alterada la sección transversal efectiva del sodio en estas zonas particulares que se han mencionado. Tenemos así, por ejemplo, que en un rango particular de energía de los neutrones, la adición de litio puede producir una reducción en la sección transversal dispersora inelástica y un incremento en la sección transversal dispersora elástica, con el resultado de una ligera alteración en la reactividad del reactor.

Con objeto de mostrar como es posible regular y seleccionar la concentración de litio en el sodio que pasa a través del reactor 10, se hace referencia a las Figuras 2 y 3. La Figura 2 muestra el diagrama de fase sodio-litio que ha sido tomado del libro titulado "Handling and Uses of the Alkali Metals", publicado por American Chemical Society, 1957.

En la Figura 3 se ilustra un reactor nuclear 10 que utiliza metal sodio líquido como refrigerante, el cual es bombeado a través del reactor 10 por medio de la bomba 12. El sodio recalentado cede su calor en el intercambiador de calor 14, el cual, por supuesto, puede ser un generador de vapor o cualquier otro elemento utilizador del calor.

Con objeto de regular la cantidad de litio disuelto en el sodio, como medio de control de la reactividad del reactor 10, se ha previsto un sistema de derivación o flujo variable lateral 16, el cual consiste en una válvula 18 que permite la retirada del sodio alimentado suministrado por la bomba 12

335922

21 ENE



- al reactor 10; un condensador 22 que se describe aquí como equilibrador; y un refrigerador 24. El equilibrador 22 está provisto de un serpentín 26 intercambiador de calor conectado mediante los tubos de acceso 28 y 32 con el refrigerador 24.
5. Una bomba 34 hace circular el líquido desde el refrigerador 24 a través del serpentín 26. El refrigerador 24 puede ser cualquier tipo de unidad en la cual se produzca la expulsión del calor extraído del equilibrador, por lo que puede ser refrigerado por agua. La corriente desviada de sodio que pasa a través de la válvula 18 es conducida a un distribuidor 36 que introduce el sodio pulverizado en el equilibrador 22. Desde el fondo de este último, una bomba 38 devuelve el líquido del fondo a la corriente principal de sodio que sale del intercambiador de calor 14 para retornar, a través de la bomba 12, al reactor 10. El refrigerador 24 va provisto de los apropiados controles del caudal refrigerante, produciendo así la refrigeración y control de temperatura del refrigerante impulsado a través del serpentín 26 por la bomba 34.

- La utilización del aparato de la Figura 3 para variar la concentración de litio en el sodio, queda ilustrada en el ejemplo siguiente: Las temperaturas de 425°C en la entrada, y la de 650°C en la salida del reactor, son valores típicos.

- Se supone que la composición del refrigerante del reactor va a variar dentro del campo comprendido entre 10 a/o Li y 90 a/o Na y 20 a/o Li y 90 a/o Na. El equilibrador 22 contiene un volumen de fase rica en Li cuya temperatura ha de estar controlada entre los 180°C y los 300°C, y una fase rica en Na, según se ha ilustrado. En la ilustración dada, este control de temperatura se obtiene regulando el funcionamiento del refrigerador 24 para que el caudal de refrigerante en el ser-

335922

21 EN



5. pentín intercambiador de calor 26 establezca la temperatura deseada en el equilibrador 22. Como quiera que la temperatura en el metal líquido refrigerante del bucle refrigerador principal es siempre más alta que la temperatura existente en el equilibrador 22, el control de temperatura puede ser ejercido aquí mediante el control de la cantidad de calor extraído.

10. El refrigerante del reactor, al sedimentarse a través de la fase rica en Li, alcanza el equilibrio térmico y de concentración con esta fase. El líquido que se recoge en la región del fondo del equilibrador 22 es pues una composición que corresponde a la temperatura del diagrama de fase. Esta composición puede hacerse superior o inferior a la composición del refrigerante del reactor, en cualquier momento dado, haciendo subir o bajar la temperatura interior del equilibrador 15. 22. El líquido recogido en el fondo del equilibrador 22 es devuelto a la corriente principal del refrigerante por mediación de la bomba 38. Si éste sistema funciona durante un apropiado periodo de tiempo, la composición del refrigerante del reactor 20. se hará casi igual a la de la fase rica en Na del equilibrador 22. La velocidad de cambio de composición del refrigerante del reactor puede ser regulada variando el ajuste de la válvula 18 que controla el ritmo al cual es tratado el refrigerante del reactor en el equilibrador 22.

25. La cantidad de fase rica en Li en el equilibrador 22 variará con la composición del reactor del refrigerante. Cuando el refrigerante del reactor se encuentra en el rango superior de a/o Li, la fase rica en Li en el equilibrador 22 será mínima, y la unidad debe estar diseñada para que esta 30. cantidad mínima sea suficiente para cubrir el serpentín inter-

335922

21 EN



5. cambiador de calor 26 y con profundidad suficiente para permitir la consecución de un valor razonable de equilibrio de concentración y térmico en el refrigerante introducido a través del distribuidor 36. En igual forma, en el rango inferior de a/o Li en el refrigerante del reactor, el volumen de la fase rica en Li será máximo, y el equilibrador 22 deberá ser lo suficientemente grande para contener este volumen con espacio suficiente para la fase rica en Na.

10. La descripción que antecede indica el método general de control del a/o Li en el refrigerante del reactor, donde se requieren cambios relativamente lentos. Algunas veces resulta conveniente reducir en forma rápida la reactividad de un reactor. Puede conseguirse esto en el presente sistema por los medios siguientes: Se cierra la válvula 18 que admite el refrigerante al equilibrador 22 y se hace funcionar a pleno rendimiento la bomba de retorno 38. La fase rica en Na es retirada primero del equilibrador 22 y es introducida en la corriente de retorno del refrigerante, después de lo cual la fase rica en Li es introducida directamente en el refrigerante. Si esto se realiza con un ritmo tal que la temperatura del refrigerante no se reduzca a 300°C (en el ejemplo presente), la fase rica en Li será completamente miscible con el refrigerante y elevará rápidamente la a/o Li en el refrigerante a un valor máximo.

25. Evidentemente, la operación del refrigerador 24 puede ser controlada automáticamente por la temperatura del refrigerante del reactor, bien sea para establecer una temperatura máxima de salida del reactor; o bien para mantener una temperatura deseada en el generador de vapor. En igual forma, 30. la válvula 18 y la bomba de retorno 38 pueden ser controladas mediante las temperaturas del refrigerante del reactor o su

335922

21 EN



velocidad de cambio en el tiempo.

Queda así comprendido que se ha provisto un control mejorado sobre la reactividad y ritmo de reproducción de un reactor de fisión nuclear rápida que utilice un metal líquido como refrigerante. Aún cuando se ha descrito sólo una incorporación preferida de la invención, debe quedar entendido que pueden hacer muchas modificaciones en la misma sin apartarse de los principios de la invención, la cual queda definida y limitada únicamente por el alcance de las reivindicaciones anexas.

N O T A

La Patente de Invención, que se solicita por veinte años, para España, de acuerdo con la vigente Legislación, deberá recaer sobre: "SISTEMA DE CONTROL DE REACTIVIDAD POR CAMBIO ESPECTRAL EN UN REACTOR DE NEUTRONES RAPIDOS REFRIGERADO POR METAL LIQUIDO", con Prioridad de la demanda de Patente en U.S.A. Serial nº 522.333, de fecha 21 de Enero de 1966, según las características esenciales de las siguientes:

R E I V I N D I C A C I O N E S

1ª.- Sistema de control de reactividad por cambio espectral en un reactor de neutrones rápidos refrigerado por metal líquido, caracterizado porque dicho control comprende: medios para el bombeo de sodio líquido, conteniendo en solución litio, a través de dicho reactor, y medios para adicionar o retirar cantidades seleccionadas de litio de dicha solución en sodio para efectuar los cambios deseados en la reactividad del reactor.

2ª.- Sistema de control de reactividad por cambio espectral en un reactor de neutrones rápidos refrigerado por metal líquido, según reivindicación 1ª, caracterizado porque

335922

21 EN



- dicho control comprende: medios para el bombeo de sodio líquido, conteniendo en solución litio, a través de dicho reactor; medios para desviar una parte de dicho sodio hacia el exterior de dicho reactor; medios equilibradores para incrementar o disminuir selectivamente la cantidad de litio disuelta en la parte de sodio desviada para efectuar el cambio deseado en la reactividad del reactor; y medios para recombinar la parte desviada de sodio con la corriente principal de sodio antes de la entrada a dicho reactor.
5. 3ª.- Sistema de control de reactividad por cambio espectral en un reactor de neutrones rápidos refrigerado por metal líquido, según la reivindicación 2ª, caracterizado porque dichos medios equilibradores incluyen medios para mantener separadas las fases rica en sodio y rica en litio de la mezcla sodio-litio mediante la regulación de la temperatura dentro de dichos medios equilibradores, determinando esta temperatura las composiciones particulares de las mezclas rica en litio y rica en sodio.
10. 4ª.- Sistema de control de reactividad por cambio espectral en un reactor de neutrones rápidos refrigerado por metal líquido, según reivindicación 3ª, en la cual la mezcla devuelta a la corriente principal es tomada normalmente de la mezcla rica en sodio.
15. 5ª.- Sistema de control de reactividad por cambio espectral en un reactor de neutrones rápidos refrigerado por metal líquido, según reivindicaciones anteriores y caracterizado porque utilizando como refrigerante sodio conteniendo litio en disolución, comprende las siguientes fases: desviación de una parte de dicho sodio al exterior de dicho reactor; la
20. adición y retirada de cantidades selectivas de litio en la parte
- 25.
- 30.

335922



desviada de sodio para efectuar el cambio deseado en la reactividad del reactor; y la recombinación del sodio desviado con el caudal principal de sodio antes de la entrada en dicho reactor.

- 6ª.- Sistema de control de reactividad por cambio
5. espectral en un reactor de neutrones rápidos refrigerado por metal líquido, según la reivindicación 5ª, caracterizado porque la fase de añadir cantidades seleccionadas de litio a la parte desviada de sodio, consiste en añadir sodio enriquecido con litio, y la fase de la retirada del litio consiste en añadir sodio con deficiencia de litio.
 - 10.

7ª.- SISTEMA DE CONTROL DE REACTIVIDAD POR CAMBIO ESPECTRAL EN UN REACTOR DE NEUTRONES RAPIDOS REFRIGERADO POR METAL LIQUIDO.

- Según queda sustancialmente descrito en la presente
15. memoria, que consta de catorce hojas, escritas a máquina por una sola cara y dibujos.

Madrid, 21 de Enero de 1967

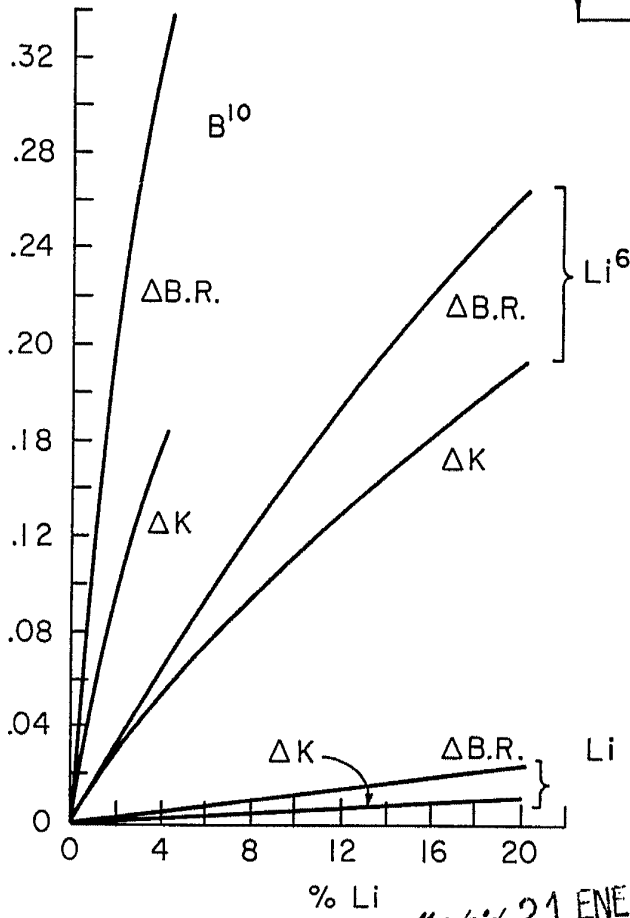
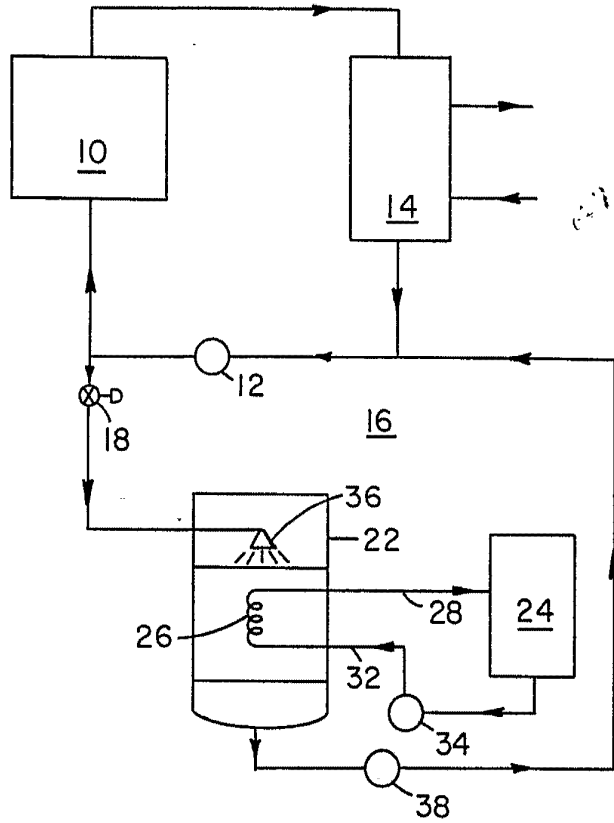
UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION

P. P. FRANCISCO GARCIA CABRERZO

P. P.

Firmado: M.ª Dolores Jorquera

Fig. 3



335022

Fig. 1

Madrid, 21 ENE. 1967
 UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION
 P. P. P.

335922

21 ENE.

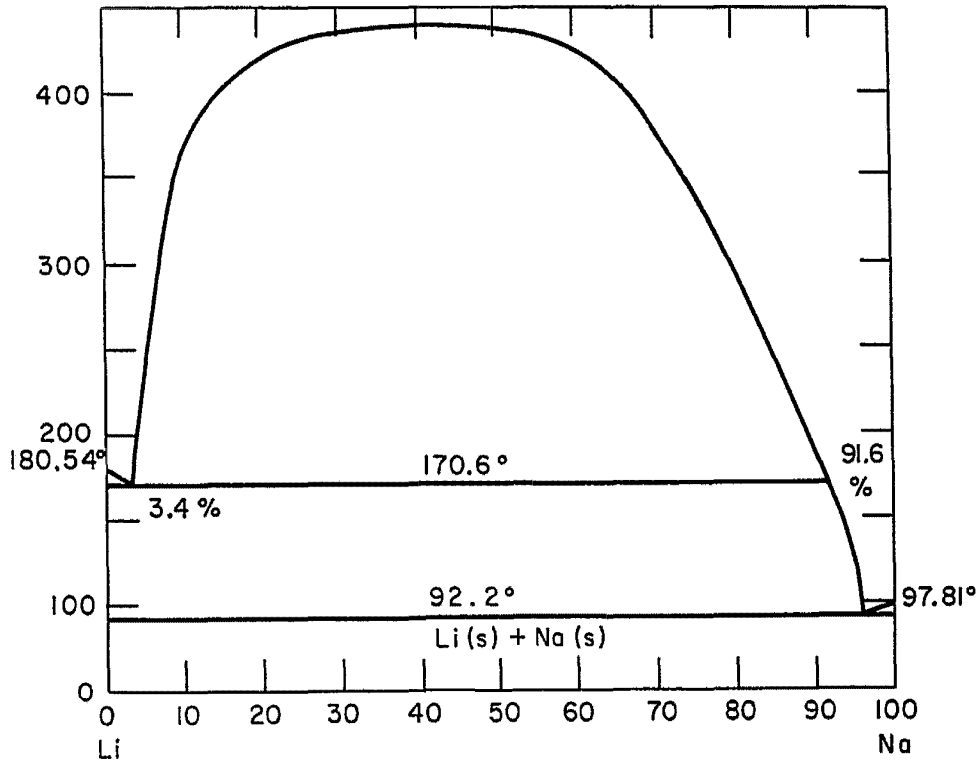


Fig. 2

Madrid, 21 ENE 1967

UNITED STATES ATOMIC ENERGY COMMISSION

P. P. FRANCISCO GARCIA CABREXO
P. P.

Firmado: M. Dolores Jorquera

Escala variable