

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1983

CNFA-AC 27/83

REPUBLICA ARGENTINA
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
Dependiente de la Presidencia de la Nación

CURSO DE OPERADORES DEL RA-3

INSTRUMENTACION Y CONTROL

Sr. Gustavo Alberto CALIGIURI

Buenos Aires

1983

PROLOGO

El objeto de este informe es la descripción de los principios fundamentales de los sistemas de control de reactores nucleares. Se dedica la mayor atención a la descripción de los sistemas de control y medición del RA-3 sin dejar de lado los criterios básicos para el diseño de una instrumentación adecuada para el control de un reactor nuclear, como así también la teoría en que se apoyan los funcionamientos de los distintos detectores y equipos utilizados en una instrumentación nuclear.

Este informe está destinado preferentemente para servir de texto para la capacitación de personal que desempeñará funciones de operación en este reactor. El presente informe consta de 3 capítulos. Los dos primeros están destinados a introducción y el tercero y fundamental trata la descripción general del sistema en la que se incluye también la lógica de control y operación del RA-3.

INDICE GENERAL

<u>CAPITULO 1 :</u>	Pág.	1
Características generales de los sistemas de control de reactores nucleares	"	2
Principios básicos de control	"	2
Especificación de los sistemas de control	"	3
Métodos de control	"	4
Circuitos de control	"	5,6
Alcances de los sistemas de control	"	6
Análisis de los sistemas de reactores	"	7,8,9 y 10
 <u>CAPITULO 2 :</u>	 Pág.	 11
Instrumentación para el comando y control de reactores nucleares	"	12
Instrumentos detectores	"	13
Detección de radiación	"	13
Interacción de partículas alfa y beta	"	13
Efecto fotoeléctrico	"	14
Efecto Compton	"	15
Producción de pares	"	15
Probabilidades de que estos efectos ocurran	"	15
Detección de neutrones	"	16
Diversos detectores para medición neutrónica	"	16
Cámara de ionización	"	16,17
Cámara de ionización compensada	"	17,18
Medidor logarítmico y medición del período	"	18,19
Cámara de fisión	"	20
Contador proporcional	"	21
Alcances de la instrumentación	"	21
Intervalo de contador	"	22,23
" " " período	"	23
" " " potencia	"	23
División de la instrumentación	"	24
 <u>CAPITULO 3 :</u>	 Pág	 25
Sistemas de control	"	26
Elementos de control	"	26
Características de las barras de control	"	26
Cadenas de medición neutrónica	"	27

Canales logarítmicos de bajo nivel. Pág.27

Detector	"	27
Instrumentación.	"	28
Circuitos de disparo interno	"	28
" " " " " externo	"	28
Instrumentos indicadores	"	28
Registrador	"	29
Comando del contador de fisión	"	29
Modo de operación de las cámaras	"	29
Diagrama en bloques	"	30
Esquema del canal de arranque	"	31

Canales logarítmicos de alto nivel " 31

Detector	"	32
Instrumentación.	"	32
Rangos de medición	"	32
Circuitos de disparo interno	"	32
" " " " " externo	"	33
Niveles de disparo	"	33
Instrumentos indicadores	"	33
Registradores	"	33

canal lineal de regulación " 34

Diagrama en bloques	"	34,
		35
Detector	"	36
Instrumentación	"	36
Registrador	"	36
Fuente de tensión	"	37

Sistema de protección " 37

Diagrama en bloques	"	38
Canales lineales de seguridad.	"	39
Detector	"	39
Instrumentación	"	39
Circuitos de disparo interno	"	39
" " " " " externo	"	40
Instrumentos	"	40
Diagrama en bloques	"	41

Circuito de acciones de seguridad	Pág	42
Registrador	"	43
Fuente de tensión para los detectores	"	43
Disposición de los detectores y barras de control en el núcleo	"	44
Esquema de la ubicación de los detectores y barras de control	"	45
<u>Lógica de enclavamiento</u>	"	46, 47,
		48, 49 y 50
Ascenso de barras	Pág	51
" " de la barra de seguridad	"	51
" " de las restantes barras	"	51
Descenso de barras	"	52
Diagrama de flujo del ascenso de barras	"	53, 54,
		y 55
Diagrama de flujo de la información para el operador	Pág.	56
Ensayo <u>subir</u> mecanismos	"	57
" " <u>bajar</u> " "	"	57
Operación mantenimiento	"	57

//

Pág. 1

CAPITULO 1 :

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE REACTORES NUCLEARES

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE REACTORES NUCLEARES

PRINCIPIOS BASICOS DE CONTROL

El objeto fundamental del sistema de control es el de proporcionar al reactor un funcionamiento regular y constante, adaptable a todas las situaciones para las que el dispositivo ha sido proyectado. Así, hay que disponer de métodos para la puesta en marcha del reactor, para llevar su potencia al nivel deseado y mantenerla en dicho nivel, y finalmente para parar el reactor cuando sea necesario. Debe disponerse también de dispositivos de seguridad apropiados, con el fin de que en casos de accidentes no se produzcan daños considerables a la instalación y por supuesto al personal. En principio el control de los reactores nucleares es idéntico al de otros dispositivos que producen energía, en forma utilizable a partir de un combustible, como el carbón o el petróleo.

La naturaleza del combustible establece una diferencia importante entre el control de reactores nucleares y el de cualquier otro convertidor de energía. Con muy pocas excepciones, en los reactores nucleares construidos o proyectados hasta ahora, no es posible reemplazar en modo continuo la carga del combustible es decir de material ffsil.

Un reactor nuclear no podrá utilizarse para la producción continua de energía, a menos que la masa de combustible exceda la cantidad de valor crítico correspondiente a la naturaleza de éste. Por ello todo reactor debe contener en el momento que comienza a funcionar una cantidad adicional de combustible equivalente a una reactividad en exceso de cierta consideración. Otros factores tales como los efectos de temperatura y de envenenamiento por los productos de fisión obligan a introducir en el reactor nueva reactividad adicional.

ESPECIFICACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Un factor importante en la cimentación de un sistema de control, es el objeto a que ha sido destinado el reactor que se va a controlar. He aquí algunos tipos: investigación y enseñanza , producción de isótopos y plutonio , producción de energía eléctrica en una central , propulsión de buques y reproducción de material ffsil.

Aunque los detalles del tipo de sistema de control pueden variar de un tipo de reactor a otro , hay sin embargo ciertas condiciones generales que todos los sistemas de control deben satisfacer. En un reactor determinado , la acción controladora debe poseer alcance suficiente para cubrir todas las contingencias y al propio tiempo , delicadeza de acción suficiente para permitir un ajuste fino. Su respuesta debe ser rápida y sin que introduzca , por sí misma , perturbaciones indebidas. El sistema de control debe ser simple y de fácil manejo , asegurando un máximo de confianza en su acción.

La descripción completa de un sistema de control puede discutirse en función de 3 condiciones principales : alcance , precisión y eficiencia .

El alcance se refiere a la cantidad total de reactividad que debe encontrarse bajo el mando del sistema , evidentemente , ésta afecta al funcionamiento del reactor como a su seguridad.

La precisión de la operación del reactor se refiere a la fidelidad con que el comportamiento real del reactor responde a los deseos del operador, o bien al programa de los sistemas de control.

Finalmente , la eficiencia es una medida combinada , global , de la economía neutrónica, de la economía energética y de la economía de funcionamiento, puede decirse que un sistema de control es eficiente cuando opera discretamente , dando a esta palabra su sentido más amplio.

MÉTODOS DE CONTROL

Cuatro procedimientos generales pueden utilizarse para modificar el factor de multiplicación efectivo, introduciendo o extrayendo :

- 1) combustible
- 2) moderador
- 3) reflector
- 4) absorbente neutrónico

Hasta ahora el procedimiento más generalmente empleado en los reactores térmicos por su sencillez y facilidad de manejo, es la introducción o extracción de un material de una gran sección eficaz de captura neutrónica (neutrones térmicos) como el boro o el cadmio.

La principal desventaja que ofrece el uso de absorbentes neutrónicos para el control de reactores, es la pérdida de neutrones resultantes.

Los materiales integrantes de las barras de control han de ser capaces de soportar condiciones muy duras. Ni la absorción de neutrones, ni la exposición a las demás radiaciones, deben originar modificaciones dimensionales, pérdidas de resistencia mecánica o pérdida de resistencia a la corrosión. Para contrarrestar la generación de calor en la barra de control, como consecuencia de las reacciones neutrónicas, los materiales constituyentes de la misma deben poseer una conductividad térmica elevada.

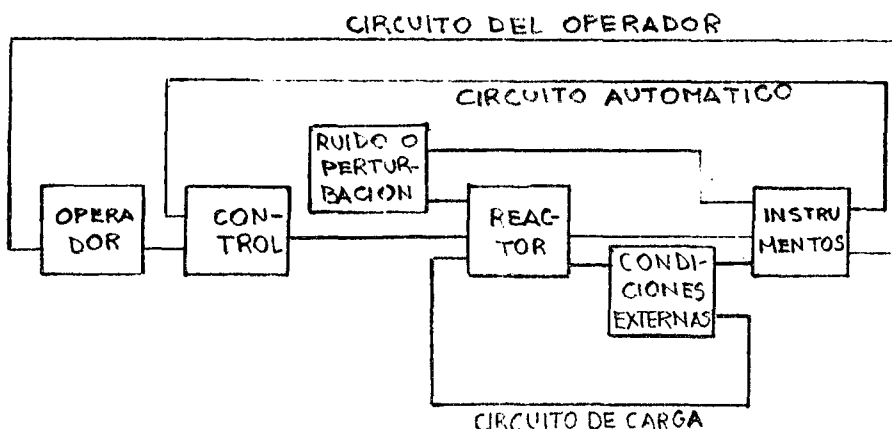
Como el cadmio funde a 361°C este metal sólo tiene aplicación como material de control a temperaturas bajas. Es extraordinariamente dúctil y se trabaja con facilidad. Sin embargo su resistencia a la corrosión no es muy buena, por lo que es necesario recubrirlo con aluminio o acero inoxidable. La sección eficaz de captura del cadmio cae muy rápidamente para energías superiores a las de resonancia de 0,18 ev. lo cual es un inconveniente para el empleo de este metal en reactores de potencia moderadas por agua, en que una proporción considerable de neutrones se encuentra en la región epitérmica (de resonancia). Para superar esta desventaja se ha propuesto en los reactores de agua a presión una aleación de plata conteniendo el 5 % de cadmio y el 15 % de indio.

Por su efectividad como absorbente neutrónico en la región epitérmica, el hafnio se considera en la actualidad como el mejor material de control para reactores de potencia refrigerados y moderados por agua.

CIRCUITOS DE CONTROL

Aunque en reactores funcionando en potencias muy bajas es factible el control manual, no siempre es posible, ni aconsejable, confiar siempre en este tipo de control. El sistema de seguridad para casos de emergencia, por ejemplo, debe ser automático. En efecto, si un instrumento indica que el flujo neutrónico está ascendiendo ~~enn~~ velocidad peligrosa, pudiera ocurrir que un operador fuera incapaz de actuar con la suficiente rapidez para reducir la reactividad a tiempo de evitar un accidente. En circunstancias como éstas, las barras de control ~~deben~~ desplazarse automáticamente para rectificar la situación. También resultaría ventajoso de disponer de mecanismos automáticos para llevar la potencia del reactor al nivel requerido y mantenerla en dicho nivel.

La figura que sigue a continuación es un diagrama en bloques en el que se destacan los aspectos generales de un control de reactores. Siguiendo las líneas que representan el circuito del operador se ve que el reactor actúa sobre determinados instrumentos.



los cuales transmiten información al operador.

Este recibe la información , y a su vez , actúa sobre el bloque de control, bien directamente o transmitiendo una señal. Así pues la función del bloque de control no es otra que ejercer sobre el reactor la acción controladora. En cambio en el circuito automático la información recibida del reactor por los instrumentos de medida es transmitida directamente al bloque de control pasando por alto al operador.

El circuito denominado de " carga " está destinado a representar la interacción de los aspectos nucleares del reactor , con las condiciones externas o no nucleares (agua , aire , gas , electricidad , etc.) En sentido muy amplio se considera que estas condiciones externas constituyen la carga del reactor.

En el diagrama vemos un bloque que dice " RUIDO O PERTURBACION " donde se consideran todos los efectos indeseables que actúan sobre el reactor. Este sistema consiste en contrarrestar ciertas clases de efectos, utilizando instrumentos que los detecten, lo mas rápidamente posible e inicien la acción correctiva del sistema de control.

Aunque los circuitos, manual, automático y de carga, aparecen cerrados, es evidente que son susceptibles de modificación. Por ejemplo el operador introduce en el esquema de control su propio concepto de cómo puede operarse el reactor. El reactor es también un sistema abierto en lo que respecta a la energía, ésta sale del sistema, principalmente a través de la carga. En la mayoría de los reactores experimentales y productores de isótopos casi toda la energía es transportada por el refrigerante que se disipa al exterior.

ALCANCE DEL SISTEMA DE CONTROL

Las condiciones de alcance, es decir, la equivalencia total de reactividad de los diversos dispositivos de control, especialmente las barras de seguridad, vienen fijadas por los criterios de proyecto y de funcionamiento del reactor. Para fijar

las necesidades de reactividad, son factores importantes los efectos del coeficiente de temperatura, grado de agotamiento de combustible que va a permitirse, envenenamiento acumulativo de productos de fisión, producción de isótopos, experiencias, etc.

Para reactores de baja potencia estos factores pueden compensarse con el 1 o 2 % de reactividad adicional, pero al tratarse de reactores de flujo elevado y alta potencia específica, ésta reactividad adicional puede llegar a un 20 % o más.

ANÁLISIS DE SISTEMAS DE REACTORES

Un aspecto importante en el proyecto de sistemas de reactores, especialmente en lo que se refiere a los elementos de control, es el análisis de la respuesta del reactor, que está funcionando en estado estacionario, a variaciones producidas por perturbaciones externas, como por ejemplo, movimiento de una barra de seguridad, variación de caudal de refrigeración, variación de la demanda de potencia, etc. Es preciso conocer entonces :

- 1') si luego de tal variación el reactor alcanza otro estado estacionario lo que significa que el sistema es estable.
- 2') si es estable, cómo se comporta el reactor a lo largo de la transición entre los estados estacionarios inicial y final.

En el caso de que el sistema sea inestable, es claro que hay que adoptar las medidas oportunas para dominar las causas de inestabilidad.

Ahora bien, un sistema reactor puede ser estable en el sentido definido anteriormente, pero sin que su comportamiento, durante la transición sea satisfactorio. Por ejemplo: que la potencia del reactor pudiera experimentar cierto número de oscilaciones, de tal amplitud, durante la etapa transitoria, que se hiciera imposible un funcionamiento seguro. Por consiguiente desde este punto de vista consideramos que el sistema es estable cuando su comportamiento transitorio entre 2 estados estacionarios, está representado por oscilaciones de poca importancia que se amortiguan rápidamente.

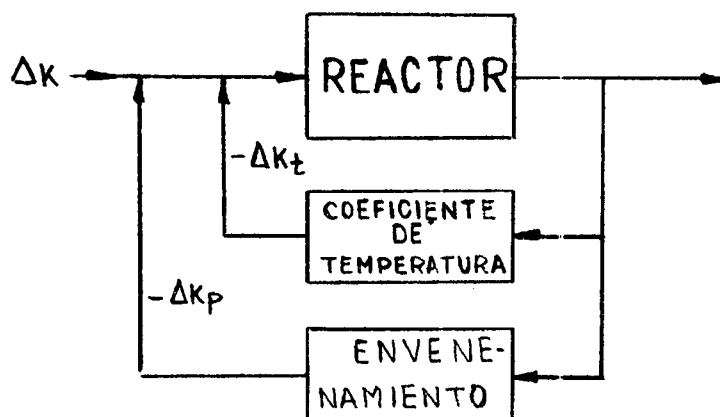
Para determinar el efecto de variaciones externas sobre un sistema en estado estacionario, hay que estudiar la respuesta transitoria resultante y ésto se consigue por análisis del sistema. El procedimiento puede ser experimental o teórico o una combinación de ambos. Así por ejemplo en experiencias llevadas a cabo en el SPERT (Special Power Excursion Reactor Test) se encontró que bajo ciertas condiciones, el aumento de reactividad subsiguiente al retiro de una barra de control iba acompañada de violentas oscilaciones de potencia. Por otra parte, un análisis teórico en las observaciones realizadas en el EBWR (Experimental Boiling Water Reactor) llevó a la conclusión de que podría elevarse la potencia normal de funcionamiento, con absoluta seguridad desde 20 a 50 Mw.

Un reactor nuclear es intrínsecamente inestable, en el sentido de que cualquier incremento de reactividad, partiendo de un estado estacionario tiende a provocar el ascenso indefinido del flujo neutrónico, sin que se alcance un segundo estado estacionario. En general, sin embargo, existen en el reactor ciertas características autolimitadores(un coeficiente de temperatura, por ejemplo) que pueden servir como agentes de estabilización. Estas características proporcionan lo que se denomina REALIMENTACION NEGATIVA. Se utiliza el término realimentación, para describir el comportamiento de un sistema controlado, cuando el sistema responde de tal manera a una variación (o error) que una de dos: o agrava el error (realimentación positiva) o lo contrarresta (realimentación negativa).

Así por ejemplo, un incremento de reactividad en un reactor en estado estacionario, sin que cambie el caudal del refrigerante, irá acompañado de un aumento de temperatura. Si el sistema posee un coeficiente de temperatura negativo, la reactividad disminuirá un grado tal, que se alcance un nuevo estado estacionario a temperatura más alta. Ciertos productos de fisión pueden contribuir también a la realimentación negativa, ya que el aumento del flujo neutrónico aumenta el envenenamiento y disminuye la reactividad.

Al considerar la realimentación de reactividad hay que darse cuenta que la magnitud de dicha realimentación viene determinada por la variación que experimenta la producción del reactor.

Como la producción de un reactor es su potencia, se define el " coeficiente de potencia " de la reactividad, como la variación de ésta por incremento de unidad de potencia. Como las realimentaciones por temperatura y por envenenamiento son independientes una de otra, el sistema reactor puede representarse por el siguiente diagrama esquematizado.



Supongamos que a consecuencia de una demanda de potencia la reactividad experimenta un incremento ΔK (por ejemplo desplazamiento de una barra de control) la variación subsiguiente de temperatura proporciona una realimentación negativa de $-\Delta K_t$, mientras que el envenenamiento contribuye con $-\Delta K_p$. La variación neta del factor de multiplicación efectiva ΔK_n , vendrá dado por :

$$\Delta K_n = \Delta K - \Delta K_t - \Delta K_p$$

De tal modo que la realimentación negativa tiende a contrarrestar la variación de reactividad provocada por la demanda de potencia.

Así pues, en el caso de que se produzca un incremento accidental de potencia, las contribuciones negativas del coeficiente de potencia ayudarán a estabilizar el sistema reactor. Ahora bien, para que una parte determinada de la realimentación sea efectiva, es preciso que el tiempo de respuesta, o constante de tiempo sea corto. Debido al retardo del calentamiento que experimenta el moderador el comportamiento transitorio del reactor viene regido principalmente por la temperatura del combustible. Es interesante mencionar, asimismo, que un coeficiente de temperatura negativo puede dar origen a oscilaciones de potencia, si su constante de tiempo, es decir su rapidéz de respuesta es lo suficientemente grande y por lo tanto contribuir a la inestabilidad del reactor.

//

Pág 17

CAPITULO 2 :

INSTRUMENTACION PARA EL COMANDO Y CONTROL DE REACTORES NUCLEARES

INSTRUMENTACION PARA EL COMANDO Y CONTROL DE REACTORES NUCLEARES

En este tipo de instrumentación se pueden considerar 2 grupos a saber:

A) Convencional

B) Nuclear

A) Dentro de este grupo encontramos:

Medidores de temperatura, es decir de grandes saltos de temperatura (Δt)

Medidores de caudal

Medidores de presión

Medidores de conductividad

Medidores de PH

etc; es decir mediciones "comunes" (convencionales)

B) Nos da información nuclear, es decir nos dice la evolución del reactor.

Encontramos:

Medidores de período

Medidores de pulsos

Medidores de CC

Escalímetros.

y todo aquello que este fuera de una medición común.

Sabemos que todos estos instrumentos nos darán una señalización que resulta de tratar información que a ellos les llega provenientes de transductores especialmente diseñados y contruidos para este uso en particular.

Así por ejemplo para medición de temperatura, puede ser un resistor que por sus características especiales varía su resistividad en función de la temperatura y puede desequilibrar un puente al que está conectado, con lo cual el instrumento adecuado indicará la temperatura.



En lo que respecta a la medición de potencia de un reactor, el nivel de la misma en cualquier instante y posición es proporcional al flujo neutrónico. Teniendo entonces detectores de este flujo ó densidad neutrónica (n° de neut/cm³) de respuesta casi instantánea, obtendremos sistemas perfectamente apropiados para:

indicación de niveles de potencia y para enviar señales a los controles automáticos, a los operadores del reactor y también a los sistemas de seguridad.

Otra forma de medir la potencia media de salida de un reactor nuclear es por medio de la siguiente expresión:

$$P = 1,16 \times Q \times \Delta t$$

Donde:

Q : caudal del refrigerante

Δt :salto de temperatura entre entrada y salida

1,16: es una constante de conversión de unidades.

Pero evidentemente esta es una forma muy lenta para tener el control del reactor sin riesgos, puesto que para medir potencia térmica es necesario esperar 4 hs. para que se estabilice la temperatura es por eso que para controlar el reactor se utilizan los instrumentos medidores de flujo a través de sus detectores que son sistemas mucho más rápidos.

INSTRUMENTOS DETECTORES

DETECCION DE RADIACION

La detección de radiación y/o flujos neutrónicos se basan en la capacidad de éstos de producir ionización; unas en forma directa , debido a partículas alfa y beta y otras en forma indirecta debido a radiación gamma y a neutrones por ser neutros.

INTERACCION DE PARTICULAS α Y β

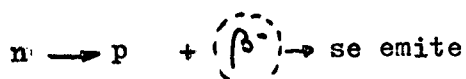
Las partículas electricamente cargadas, son capaces de provocar ionización a través de su paso por la materia,dejando una estela de pares iónicos. Por ejemplo, si una partícula α ó β , atravieza materia existe la posibilidad de que al acercarse mucho al átomo, la interacción eléctrica sea la suficiente como para arrancar un electrón orbital externo del átomo, de esta forma lo que tendremos será , lo que quedó del átomo o sea un ión cargado positivamente y un electrón libre. A este conjunto de un ión (+) y un ión (-) se lo denomina PAR IONICO .

A las radiaciones α y β se las llama radiaciones directamente ionizantes La magnitud de la intensidad de ionización producida por una partícula cargada se llama ionización específica y se define como el número de pares iónicos producidos por cm. de trayectoria de la partícula cargada.

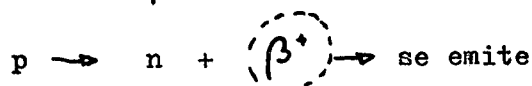
Para partículas con igual masa la ionización específica aumenta con la energía que tengan. Para partículas de igual energía, las de mayor masa producen mas ionización puesto que se desplazan con mayor lentitud aumentando el tiempo de cercanía con los átomos por lo tanto aumentando la posibilidad de ionización. La ionización de un α es mucho mayor que la de un β .



$\beta \rightarrow$ un neutrón se convierte en un protón más una emisión β^-



Si hay mas protones que neutrones, un protón pasa a ser un neutrón y se origina una emisión β^+ .



Las radiaciones γ , X y neutrones al no poseer carga eléctrica alguna no producen ionización sino a través de ciertos efectos que preceden a la ionización de ahí el nombre de radiación indirecta.

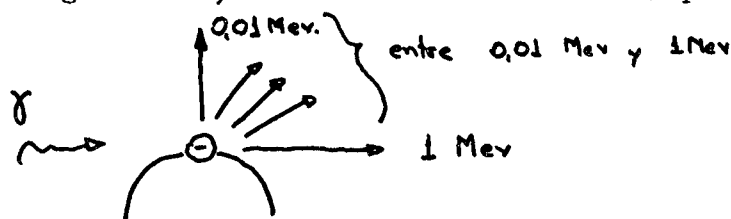
En la radiación γ distinguimos 3 efectos fundamentales:

EFFECTO FOTOELECTRICO

La interacción de un fotón γ de energía superior a la de enlace de un electrón orbital, hace que toda la energía del fotón se transfiera al electrón y éste es expulsado del átomo, en este caso el fotoelectrón se comporta como una partícula β ionizante.

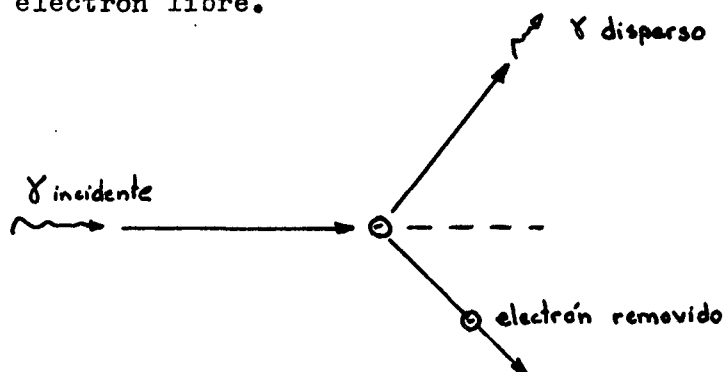


Con energías de 1 Mev el electrón sale disparado en la dirección del incidente. Con energías de 0,01 Mev el electrón sale disparado a 90°



EFFECTO COMPTON

Un fotón γ realiza una colisión elástica (tipo bola de billar) con un electrón externo de un átomo, este electrón está débilmente enlazado y se comporta como un electrón libre.



Se transfiere al electrón parte de la energía del γ , por lo tanto un fotón γ de energía más baja es el que se desplaza en una nueva dirección.

PRODUCCION DE PARES

Supongamos que un fotón γ de energía mayor que 1,02 Mev pasa cerca de un núcleo; puede aniquilarse en el gran campo eléctrico que hay formándose un par -positrón-electrón-

La energía equivalente a la masa de un electrón y un positrón es igual a 1,02 Mev, por lo tanto, ésta será la energía mínima necesaria para producir parejas. Si el γ tiene mayor energía se va como energía cinética de la pareja.

PROBABILIDADES DE QUE ESTOS EFECTOS OCURRAN.

$$\text{Probabilidad de efecto fotoeléctrico} = K \cdot \frac{Z^n}{E^3}$$

Donde n varía de 3 a 5 según sean los de baja o alta energía, por lo tanto el efecto fotoeléctrico aumenta con el número atómico y con la energía decreciente de los rayos

$$\text{Probabilidad de efecto Compton} = K \cdot \frac{Z}{E}$$

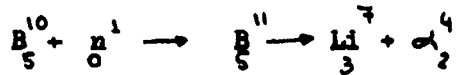
$$\text{Probabilidad de producción de pares} = K \cdot Z \cdot (E - 1,02 \text{ Mev})$$

Los pares aumentan con el número atómico y con el exceso de energía del fotón por arriba de 1,02 Mev.

Con el aumento de energía disminuyen los efectos fotoeléctricos y Compton, y aumentan la formación de pares. Por lo tanto con energías mayores a 5 MeV la producción de pares es predominante.

DETECCION DE NEUTRONES

La reacción de los neutrones lentos provoca con el B^{10} :



o sea un núcleo de Helio; $\alpha^{++} \rightarrow$ $\begin{cases} 2 \text{ protones} \\ 2 \text{ neutrones} \end{cases}$

y un núcleo de Litio, los cuales salen en direcciones opuestas con energías relativamente altas (He: 1,5 MeV y Li: 0,85 MeV) y provocan ionizaciones.

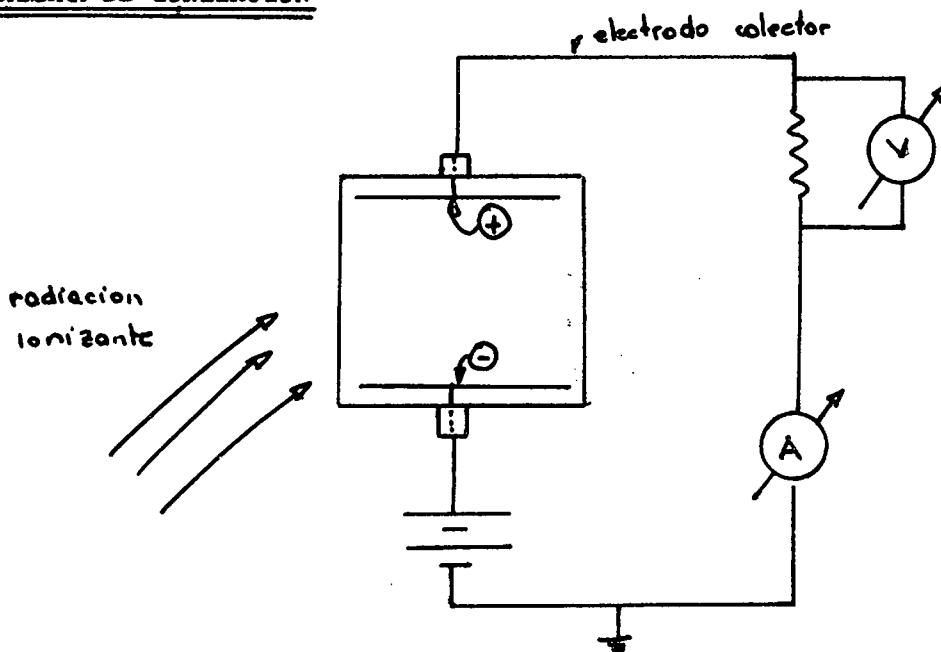
A través de esta partícula α ionizante nos es posible medir neutrones puesto que la ionización producida es indirectamente debido a neutrones exclusivamente.

Otro proceso para detectar neutrones es a través de la fisión del U^{235} producida por neutrones lentos. En dicho proceso los productos de fisión producen a su vez gran cantidad de pares iónicos en su trayectoria ionizante.

En los dos procesos descriptos las ionizaciones son directamente proporcionales a los neutrones existentes.

DIVERSOS DETECTORES PARA MEDICION NEUTRONICA

CAMARA DE IONIZACION



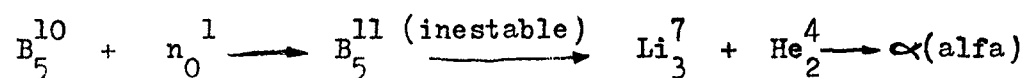
La radiación ionizante produce pares iónicos dentro de la cámara que contiene gas. Estos pares iónicos son colectados por los electrodos y la señal que leemos en los instrumentos será proporcional a las radiaciones incidentes.

El electrodo al que se conecta el instrumento de medida recibe el nombre de "electrodo colector". Por lo general este último se mantiene a potencial de tierra (o muy próximo) mientras que el otro se somete a una tensión apropiada para que pueda operarse en la región de la cámara de ionización. El gas que lleva la cámara puede ser entre otros: aire, dióxido de carbono, nitrógeno, argón y metano.

Para la detección de neutrones rápidos la cámara se llena de hidrógeno o de un hidrocarburo gaseoso o también puede forrarse el interior de la cámara con una sustancia hidrogenada como parafina o polietilenos.

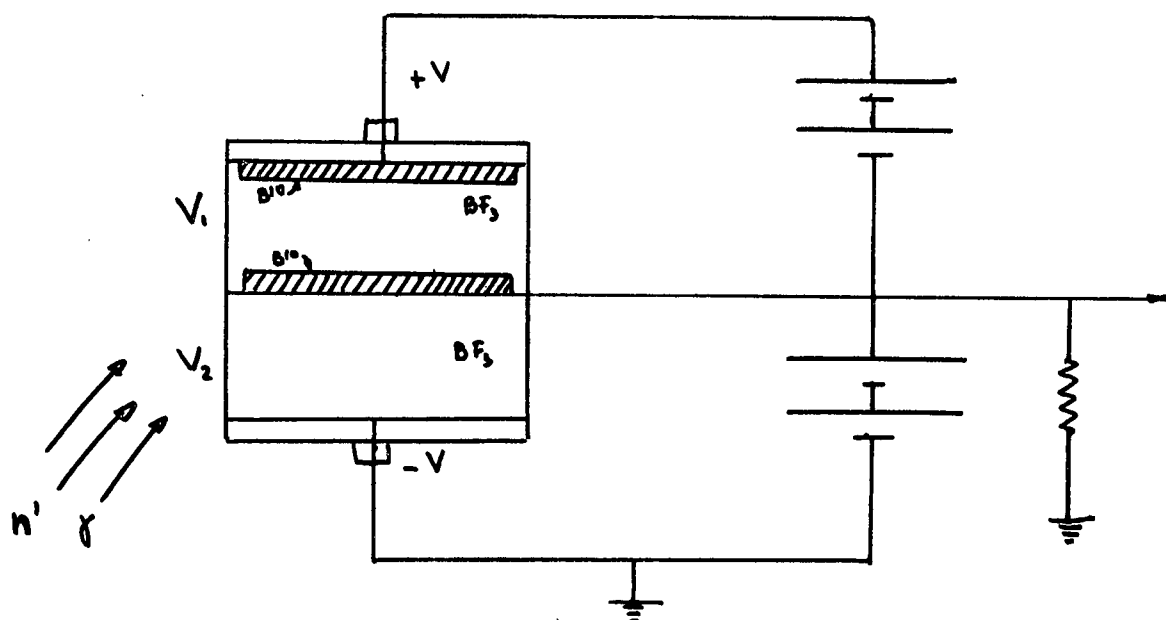
Los neutrones rápidos dejan en libertad protones de retroceso de alta energía. La corriente iónica debida a la ionización producida por protones de retroceso constituye una medida de la densidad neutrónica o flujo.

Para detectar neutrones lentos todo lo que se necesita es recubrir con B^{10} uno de los electrodos ya que posee una gran sección eficaz de absorción de neutrones lentos.



CAMARA DE IONIZACION COMPENSADA

Se denomina así puesto que compensa o anula la ionización producida por radiación γ que pueden ser en algunas zonas del reactor muy intensas. De esta forma al anularse la corriente iónica debida a los rayos γ solo se tendrá corriente debida a la radiación neutrónica.



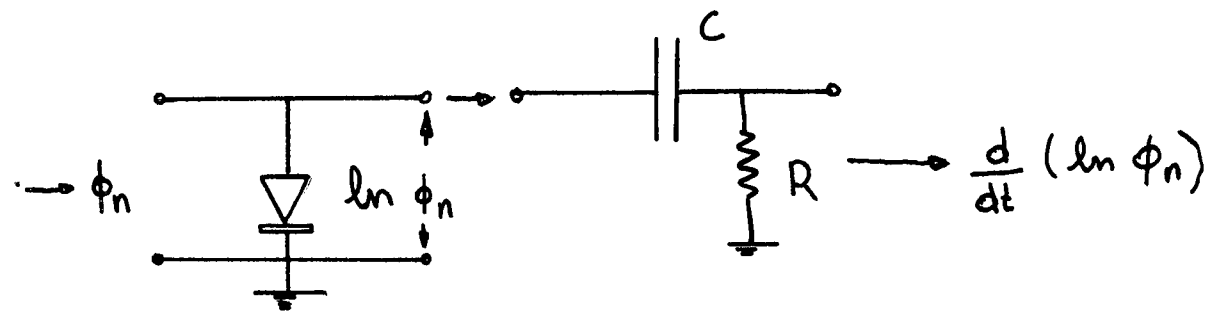
Como los volúmenes V_1 y V_2 son iguales y además contiene el mismo gas la corriente iónica debido a radiación γ será la misma tanto en V_1 como en V_2 , de ahí que la señal debido a radiación γ en el electrodo central sea nula. No así sucederá con la corriente debido a radiación neutrónica ya que en el volumen V_1 además de ser el gas el mismo que el del volumen V_2 éste está enriquecido con B^{10} que tiene gran captura neutrónica.

MEDIDOR LOGARITMICO Y MEDICION DEL PERIODO

El voltaje a través de un diodo dentro de ciertos límites, es proporcional al logaritmo de la corriente que circula por el diodo.

Si a la corriente iónica debido a la densidad neutrónica o flujo (neutr./cm².seg) se la hace circular a través de un diodo obtendremos una tensión que será proporcional a esa corriente, por lo tanto tiene relación directa la tensión con el logaritmo de la densidad neutrónica, puesto que la corriente es debido a ella.

Si a la salida de un medidor logarítmico de flujo neutrónico colocamos un circuito derivador RC como el que indica la figura siguiente:



la corriente de este último viene a ser una medida de la derivada del $\log n$ con respecto al tiempo, es decir:

$$\frac{d(\log n)}{dt}$$

combinando entonces un circuito de medición logarítmica con un circuito derivador RC obtendremos una señal proporcional de salida a $\frac{1}{T_p}$, si esta salida la conectamos a un instrumento calibrado en segundos obtendremos un medidor del periodo del reactor.

$$n = n_0 e^{\frac{t}{T_p}}$$

$$\frac{n}{n_0} = e^{\frac{t}{T_p}}$$

$$\ln \frac{n}{n_0} = \frac{t}{T_p} \cdot \underbrace{\ln e}_1$$

Derivando:

$$\frac{d \ln n/n_0}{dt} = \frac{d t/T_p}{dt}$$

$$\frac{1}{n} \cdot \frac{1}{n_0} \cdot \frac{dn}{dt} = \frac{1}{T_p} \Rightarrow$$

$$\boxed{\frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{dt} = \frac{1}{T_p}}$$

Cuando el circuito de salida de una cámara de ionización tiene una constante de tiempo chica, comparada con el tiempo que transcurre entre la llegada a la cámara de 2 partículas ionizantes sucesivas, es evidente que la corriente de salida va a ser pulsante. Es decir llega a la cámara una partícula ionizante, ésta entrega un pulso de salida, a continuación llega otra partícula ionizante y vuelve a entregar otro pulso, o sea que cada pulso representa la llegada de una partícula α ó β ionizante a la cámara. Luego conectando esta cámara de impulsos a un amplificador y a un contador, tendremos una medida de las partículas actuantes.

Una de las grandes ventajas de la cámara de impulsos es que puede utilizarse para medir densidades neutrónicas en presencia de intensidades considerables de partículas β y rayos γ , por lo tanto los impulsos debido a la llegada de neutrones serán mucho mayores. Los impulsos de salida de la cámara se llevan a un amplificador, luego a un discriminador, seguido de un contador de impulsos. La función del discriminador es dejar pasar a través de una ventana de ajuste en amplitud y posición los pulsos debido a radiación neutrónica que son 100 veces mayores que los debido a γ y β .

Para detectar neutrones es posible agregar BF_3 gaseoso enriquecido con B^{10} .

CAMARA DE FISION

Las ionizaciones son provocadas por los productos de fisión provenientes de una capa de U^{235} que rodea a la cámara. Las cámaras de fisión se utilizan para medir flujo neutrónico durante el arranque del reactor. El impulso debido a los fragmentos de fisión es tan grande que se puede discriminar de los debido a rayos γ de ahí su uso en lugares donde hay alta actividad γ .

A las cámaras de fisión se conecta un medidor de ritmo de cuentas, pues da una medida de la densidad neutrónica local.

Si colocamos a la salida un diodo, tendremos una medida del ritmo de cuentas logarítmica y luego entrando en circuito derivador nos dará indicación del período del reactor.

CONTADOR PROPORCIONAL

Para la determinación de densidades neutrónicas, el tubo se llena con BF_3 gaseoso enriquecido con B^{10} , mediante la discriminación los impulsos debido a rayos γ o β no son registrados, pero sí los grandes impulsos debido a neutrones por ionización indirecta. Sus ventajas son:

- 1) tiempo de recuperación muy pequeño, es posible ritmos de cuentas muy altos ($\tau = RC$ muy pequeña).
- 2) gran factor de amplificación.

Debido a su factor de amplificación interna se los utiliza en los primeros pasos de la puesta a crítico del reactor, es decir en el arranque, cuando el flujo neutrónico es muy bajo.

Otra de sus ventajas es que al tener un gran factor de amplificación, los impulsos de corriente (ó tensión, recordemos que tenemos corriente a través de un resistor) recibidos son grandes, debido a ellos se necesita menor cantidad de amplificación externa para poder accionar un contador o una escala.

ALCANCES DE LA INSTRUMENTACION DE UN REACTOR NUCLEAR

Como sabemos la potencia de un reactor depende del flujo neutrónico y por ende, para tener información de esa potencia en forma rápida se recurre a los instrumentos medidores de flujo.

La seguridad de funcionamiento del reactor exige conocer el flujo neutrónico desde el arranque hasta la puesta en potencia del mismo, a los efectos de tener información de como evoluciona o crece la potencia del mismo.

Ningún instrumento o detector es capaz de seguir con exactitud el gran rango de variación neutrónica (flujo ϕ) que hay entre el arranque y la puesta en potencia de un reactor nuclear.

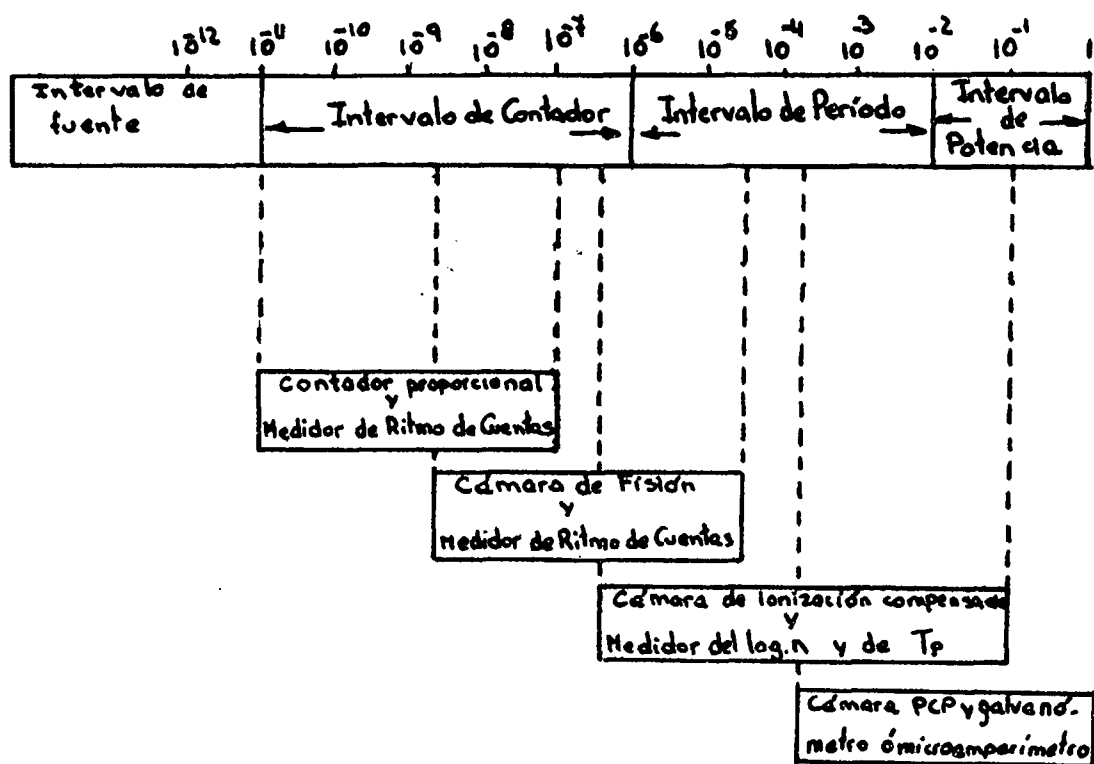
Si usamos una cámara de ionización, compensada o no, cuando el flujo neutrónico es pequeño, los impulsos llegan a un ritmo muy lento, por lo tanto el tiempo de integración es muy largo y el tiempo de respuesta es muy lento.

Por otra parte para flujos altos los contadores de pulsos (tubo de BF_3 con B^{10} ó cámaras de fisión) están limitados por el tiempo de resolución del sistema

pero para flujos bajos estos contadores son precisos.

En flujos altos son confiables aquellos instrumentos que nos dan prácticamente una corriente continua, y no pulsos, como la cámara de ionización compensada, PCP, etc.

Para todo lo expuesto anteriormente se divide el alcance o intervalo que va desde la puesta en marcha hasta el nivel de potencia, en 4 regiones que aunque pueden variar entre los diferentes tipos de reactores dan una idea muy aproximada del tipo de instrumentación que se debe usar para seguir satisfactoriamente la evolución del reactor.



INTERVALO DE CONTADOR

En la puesta en marcha de un reactor, cuando el flujo neutrónico es bajo y el

campo de radiaciones γ es muy intenso, se utilizan cámaras de fisión o un contador proporcional (tubo de BF_3), en esta zona es muy eficaz la cámara de fisión que la cámara de boro, pues la ionización producida por los productos de fisión en la cámara de fisión, es mucho mayor que la que produce la cámara de boro. Tanto se use la cámara de fisión como el contador proporcional ambos deben ser seguidos por un discriminador para poder separar los pulsos debido a los neutrones, de los que producen los γ .

En esta zona llamada "Intervalo de contador" el flujo alcanza valores de varias décadas (potencias de 10), por lo tanto es preciso tener un medidor logarítmico del ritmo de cuentas (medidor logarítmico o integrador logarítmico)

En general miden de 1 a 10.000 cuentas/seg. es decir de 0 a 4 en escala logarítmica. Al subir el flujo neutrónico (más potencia) se puede extender el intervalo de medida desplazando la cámara de fisión en lugares donde el flujo sea menor, a su vez, baja el deterioro por radiación y el sistema se activa menos.

Alrededor de 10^4 impulsos/seg. comienza a ser efectiva la cámara de ionización compensada.

$$10^4 \text{ impulsos} = 10^{-10} \text{ amper.}$$

INTERVALO DE PERIODO

En este tramo es importante conocer la velocidad con que asciende el flujo; por esta se determina el período.

A través de un sistema electrónico descrito anteriormente obtenemos una señal proporcional a la inversa del período o sea $\frac{1}{T_p}$ la cual se manda a otro instrumento diferente el cual nos indica el flujo ϕ .

INTERVALO DE POTENCIA

Las características que debe tener el sistema indicador son:

- 1) precisión
- 2) sensibilidad

en especial si se emplean controles automáticos.

Se usa en general cámaras de ionización no compensadas pero aquí la corriente se la amplifica en forma lineal y se señala en un microamperímetro calibrado en

//

flujo o potencia.

DIVISION DE LA INSTRUMENTACION

1) CANALES DE ARRANQUE

Instrumentos asociados

Detector

Equipo "A" → Integrador logarítmico y Medidor de Período	}	Tubo de BF
Equipo "D" → Integrador lineal		o Cámara de fisión

2) CANALES DE MARCHA

Instrumento asociado

Detector

Equipo "B" → Amplificador logarítmico y Medidor de Período	}	Cámara de
		ionización compensada

Este equipo puede tener una escala lineal y ser usado como canal de regulación.

3) CANALES DE POTENCIA

Instrumento asociado

Detector

Equipo "C" → Amplificador lineal de corriente	}	cámara de ionización compen
		sada o no compensada

//

Pág 25

CAPITULO 3 :

SISTEMAS DE CONTROL

SISTEMAS DE CONTROL

El control del reactor se efectúa mediante los siguientes dispositivos:

- 1) Un conjunto de cadenas de medición del flujo neutrónico que comprende los canales de arranque y los de operación a plena potencia.
- 2) El sistema de control de la potencia por medio de barras absorbentes de neutrones que se desplazan dentro del núcleo del reactor.
- 3) Un conjunto de mediciones de tipo convencional que permite verificar el buen funcionamiento de los sistemas de refrigeración y purificación del agua.

ELEMENTOS DE CONTROL

El control del reactor se efectúa a través de medios absorbentes de neutrones llamados barras de control, que se desplazan verticalmente dentro del núcleo. Se han dispuesto 4 barras de control, llamadas de compensación-seguridad, destinadas a producir grandes variaciones de reactividad en forma lenta y además actuar como dispositivo de seguridad, ya que son introducidas rápidamente dentro del núcleo, en caso de riesgo, deteniendo el reactor. Las barras de compensación-seguridad son de cadmio revestidas con acero inoxidable.

Una quinta barra llamada de regulación (de regulación fina) está destinada a ser utilizada durante las operaciones rutinarias del reactor y a introducir limitadas cantidades de reactividad. Esta barra de regulación es de acero inoxidable.

CARACTERISTICAS DE LAS BARRAS DE CONTROL

1) Barra de regulación fina:

Carrera total	640 mm
Velocidad máxima	21 mm/seg
Valor de reactividad	menor que 650 pcm.

2) Barras de compensación-seguridad:

Carrera total	640 mm
Velocidad máxima	2,1 mm
Valor de reactividad	aprox. 4500 pcm. c/u (este valor depende del

flujo existente en la zona donde está ubicada la barra de control).

CADENAS DE MEDICION NEUTRONICA

La potencia nominal del reactor es de 5Mw , sin embargo las cadenas de medición previstas permiten alcanzar hasta los 15 Mw.

El nivel inicial o nivel de fuente, está asegurado por la presencia de una fuente artificial de neutrones que provee 10^7 neutrones/seg. Este nivel es aproximadamente de 10^{-10} veces de la potencia nominal. Para cubrir esta gama de 10 décadas se utilizan:

- 1) 2 cadenas de medición logarítmicas con cámaras de fisión. Las cámaras pueden desplazarse para aumentar la zona de recubrimiento con la cadena de medición logarítmica de alto nivel.
- 2) Una cadena de medición logarítmica de alto nivel con cámara de ionización compensada.
- 3) Un canal lineal de regulación, con cámara compensada, para el control de comando automático si existe, y para lectura de potencia en escala lineal.
- 4) 3 canales de seguridad para producir las señales de alarma y de caída de barras en el rango de alta potencia que utilizan cámaras de ionización no compensadas

1) CANALES LOGARITMICOS DE BAJO NIVEL

En el arranque del reactor es preciso contar con una medición continua de los transitorios del flujo neutrónico para control y seguridad, desde el nivel de fuente hasta la entrada en potencia del reactor (aproximadamente 10^{-5} de la potencia nominal). Esto se logra por medio de 2 cadenas logarítmicas compuestas por los siguientes elementos:

A) DETECTOR :

Constituido por una cámara de fisión (tipo 20 th Century FC 165) con transformador de pulsos. El conjunto se encuentra encerrado en un recipiente estanco que se prolonga en un tubo de polietileno donde se alojan los cables

B) INSTRUMENTACION (ver figura 1)

Está formada por un amplificador de pulsos, circuitos conformadores de pulsos discriminator, integrador logarítmico y medidor de período (modelo RT - 102).

Rangos de medición:

Nivel de flujo = 1 a 10^5 cuentas/seg

Período = -30 a +3 seg.

C) CIRCUITO DE DISPARO INTERNO

Actúa si :

-se retira algunas de las plaquetas enchufables.

-falta de alta tensión en el detector.

El contacto del relé de disparo está conectado en una cadena de contactos similares pertenecientes a otros equipos de manera tal de producir una alarma si alguna de las circunstancias apuntadas se produce.

D) CIRCUITO DE DISPARO EXTERNO

Cada canal de medición está conectado a 5 circuitos de disparo externo, 3 de ellos actúan por nivel de flujo , con sus respectivas acciones lógicas es decir alarma, introducción automática y SCRAM (se disparan por nivel de cuentas) y los 2 restantes por período (SCRAM y alarma o SCRAM e introducción automática de barras)

Niveles de disparo :	Cuentas	Período
	10 c/seg	25 seg.
5 x 10^4 "	"	25 "
10^5 "	"	30 "

E) INSTRUMENTOS INDICADORES

Instrumento con escala logarítmica abarcando 5 décadas de 1 a 10^5 cuentas/seg de 0 a 1 ma en el panel frontal del equipo y en el pupitre de comando.

Instrumento con escala hiperbólica graduado desde -30, 00, 3 seg.; cero en coincidencia con 00 , ubicado en el panel frontal de cada equipo. Un segun-

do instrumento en el pupitre de comando repite la indicación de los instrumentos de los equipos electrónicos.

Un selector se encarga de conectar este instrumento con el canal de medición deseada.

F) REGISTRADOR

La potencia se registra en un registrador potenciométrico de 10 mv , 150 mm de ancho de registro ubicado en el pupitre de comando. El mismo selector utilizado para el instrumento de período , selecciona cuál de los canales es el que registra.

G) COMANDO DEL CONTADOR DE FISION

Puede ocupar 3 posiciones : inferior , media y superior.

Las dos primeras sirven para medición y la posición " superior " del contador de fisión lo aleja lo suficiente del núcleo como para protegerlo de una exposición a elevado flujo neutrónico, durante la marcha a plena potencia. Las posiciones están ubicadas por luces en el pupitre de comando.

MODO DE OPERACION DE LAS CAMARAS

(ver figura 2)

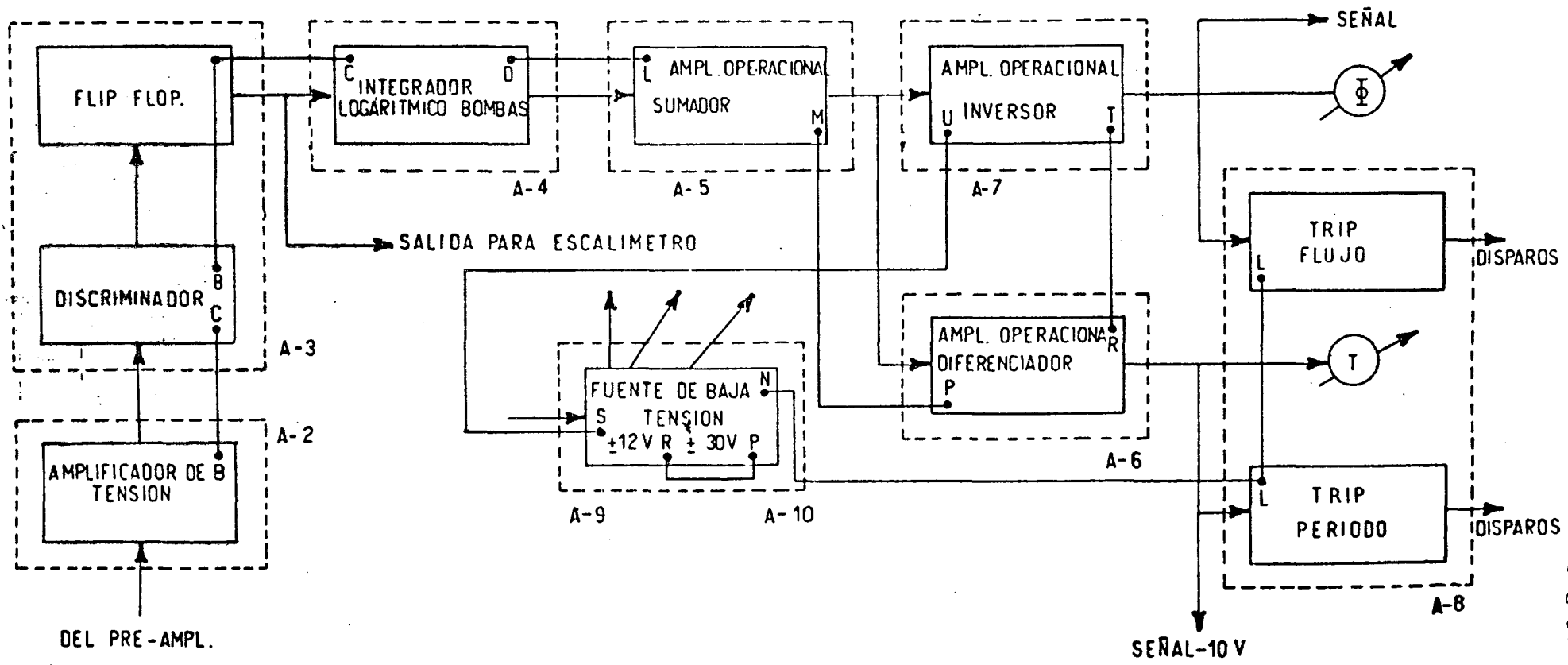
Por la lógica de arranque una de las 2 cámaras de fisión tiene que estar en reposo para que ésta pueda medir y tener así , en todo momento , lectura de la evolución del número de cuentas en esta primer etapa de " arranque " del reactor.

Para ello es necesario tener 2 instrumentos indicadores asociados en cada equipo como el A_1 y el A_2 . Ahora bien , como por lo menos tenemos una cámara leyendo nos hace falta por lo menos 1 medidor de período que lo asociamos con la cámara de fisión 1 ó la cámara de fisión 2 mediante la llave LL (ver figura)

Es decir , con la llave seleccionamos la cámara que queremos que nos dé información. Esta operación no inhibe las medidas de seguridad , si el número de cuentas o el período pasa los niveles fijados en los disparos de seguridad se ocasionan las correspondientes acciones lógicas: $A_1 \phi_1$ $A_1 \phi_3$, $A_2 \phi_1$ $A_2 \phi_3$. Dos escalímetros ubicados en los rack frontales nos dan idea de la evolución del número de cuentas en intervalos de tiempos fijados de antemano.

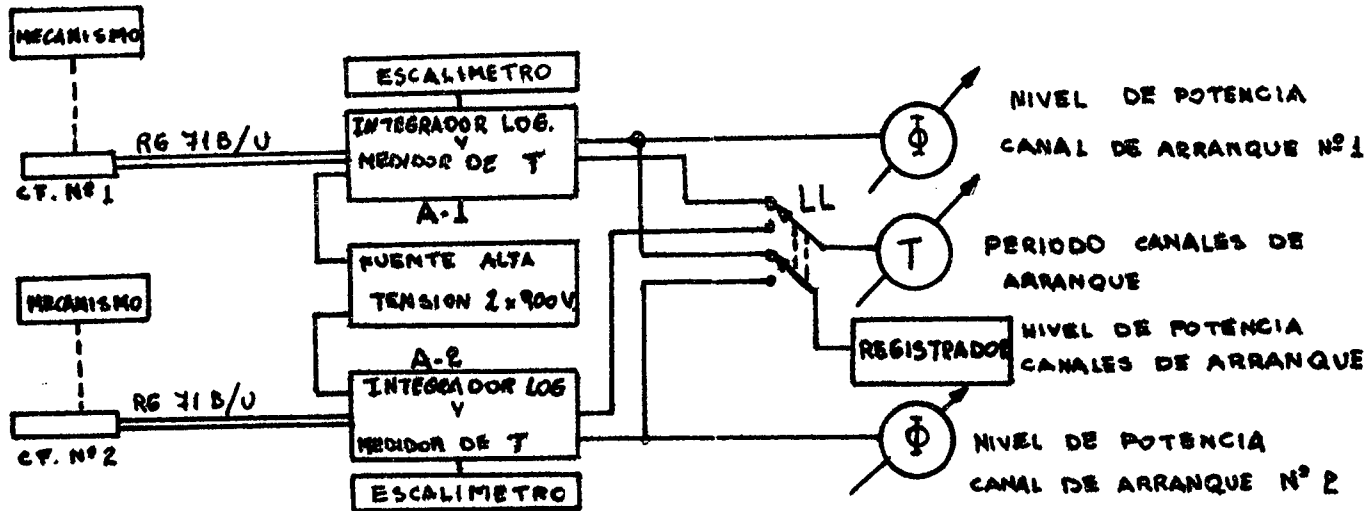
Fig: 1

INTEGRADOR LOGARITMICO Y MEDIDOR DE PERIODO



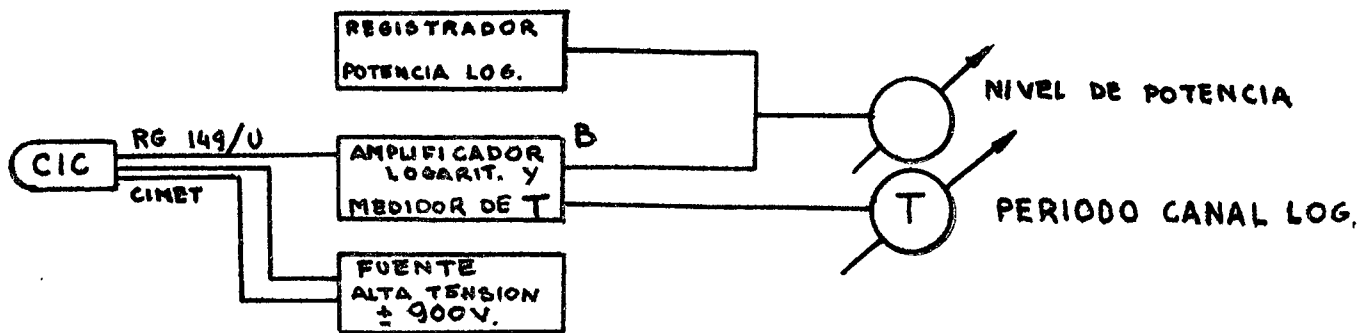
ESQUEMA DEL CANAL DE ARRANQUE

fig: 2



CANALES LOGARITMICOS DE ALTO NIVEL

fig 3



Una medición logarítmica del flujo de neutrones en el orden de 10^{-10} a 10^{-7} W proporciona una orientación general y sirve de base para la medición de período.

Este sistema está compuesto por:

A) DETECTOR

Cámara de ionización compensada (20 th.century RC 6 EB) ubicada en el recipiente estanco que se prolonga hasta la boca del tanque. En su parte inferior está recubierta por un blindaje de plomo para reducir al mínimo el efecto γ existente en esa zona próxima al núcleo.

Sensibilidad : 2×10^{-14} A. cm².seg/ neut.

B) INTRUMENTACION (ver figura 3)

Amplificador logarítmico de corriente y medidor de período tipo CNEA RT 103, totalmente transistorizado realizado en plaquetas enchufables.

C) RANGOS DE MEDICION

Corriente: 10^{-10} a 3×10^{-4} amperes (0,0001 % a 300 %)

Período : -30 , ∞ , a 3 seg.

D) CIRCUITOS DE DISPARO INTERNO

Actúa si :

- Se retira una plaqueta enchufable.
- Falta de tensión en el detector.
- Tensión de salida opuesta a la normal.

El contacto de relé de disparo, está conectado en forma similar al del canal logarítmico de bajo nivel.

E) CIRCUITO DE DISPARO EXTERNO

Reciben señales analógicas de 0 a -10 volt del amplificador logarítmico y del diferenciador.

Hay 2 circuitos de disparo conestados a la salida del amplificador de corriente y 3 que actúan con la señal del diferenciador (inversamente proporcional al valor del período).

F) NIVELES DE DISPARO

Corriente	Período	
10^{-9} A	25 seg	3 seg
10^{-6} A	10 seg	

Acciones que provoca:

$B_1\phi_1$	$B_1\phi_2$	Alarma , introducción		
B_1T_1	B_1T_2	B_1T_3	"	" y SCRAM.

G) INSTRUMENTOS INDICADORES

Instrumentos con escala logarítmica , abarcando 6,3 décadas graduado desde 10^{-10} A a 3×10^{-4} A , de 1 mA a fondo de escala ubicados en el panel frontal del equipo y en el pupitre de comando.

Instrumento con escala hiperbólica , graduado de -30 , ∞ , 3 seg el ∞ coincide con el cero , ubicado en el panel frontal del equipo y en el pupitre de comando para la medición de período.

H) REGISTRADORES

La potencia en escala logarítmica, se registra en un registrador potenciométrico de 10 mV de 280 mm de ancho de registro , ubicado en la parte superior del rack 4 A . El registro del período se registra en otro registrador similar (potenciométrico) de 0,09, 0 , + 9,1 mV , ubicado en la parte superior del rack 3 B.

//

pág 34

Sobre este mismo registrador puede registrarse el período indicado en los canales de bajo nivel, accionando un selector colocado en el pupitre de comando. Las acciones que provoca son : B_{11}^T , B_{12}^T , B_{13}^T . -

CANAL LINEAL DE REGULACION

fig 4

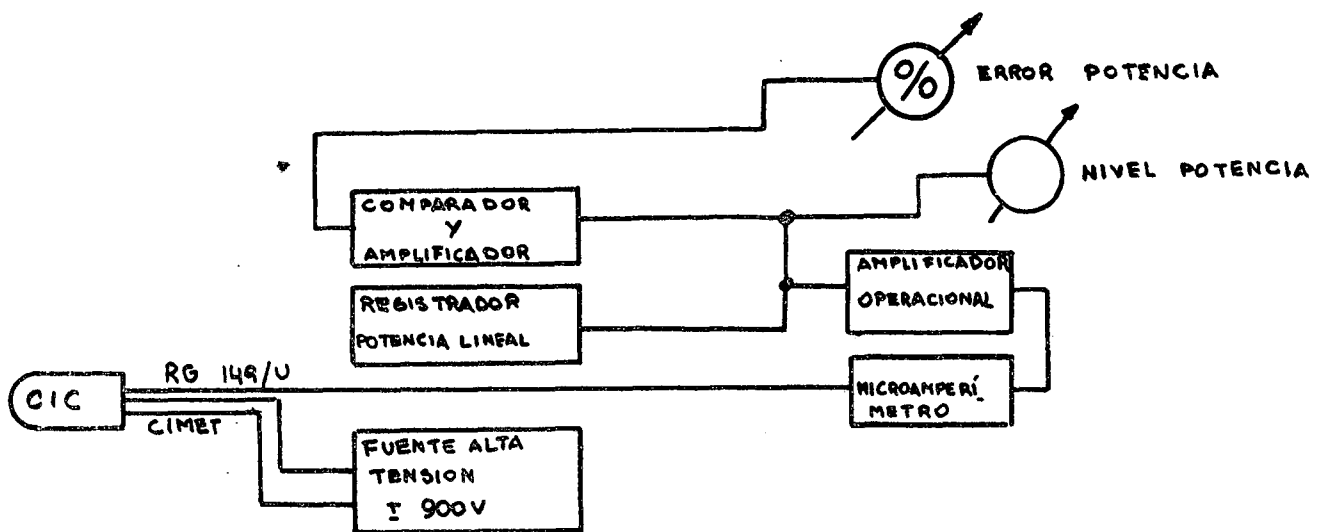


DIAGRAMA EN BLOQUES

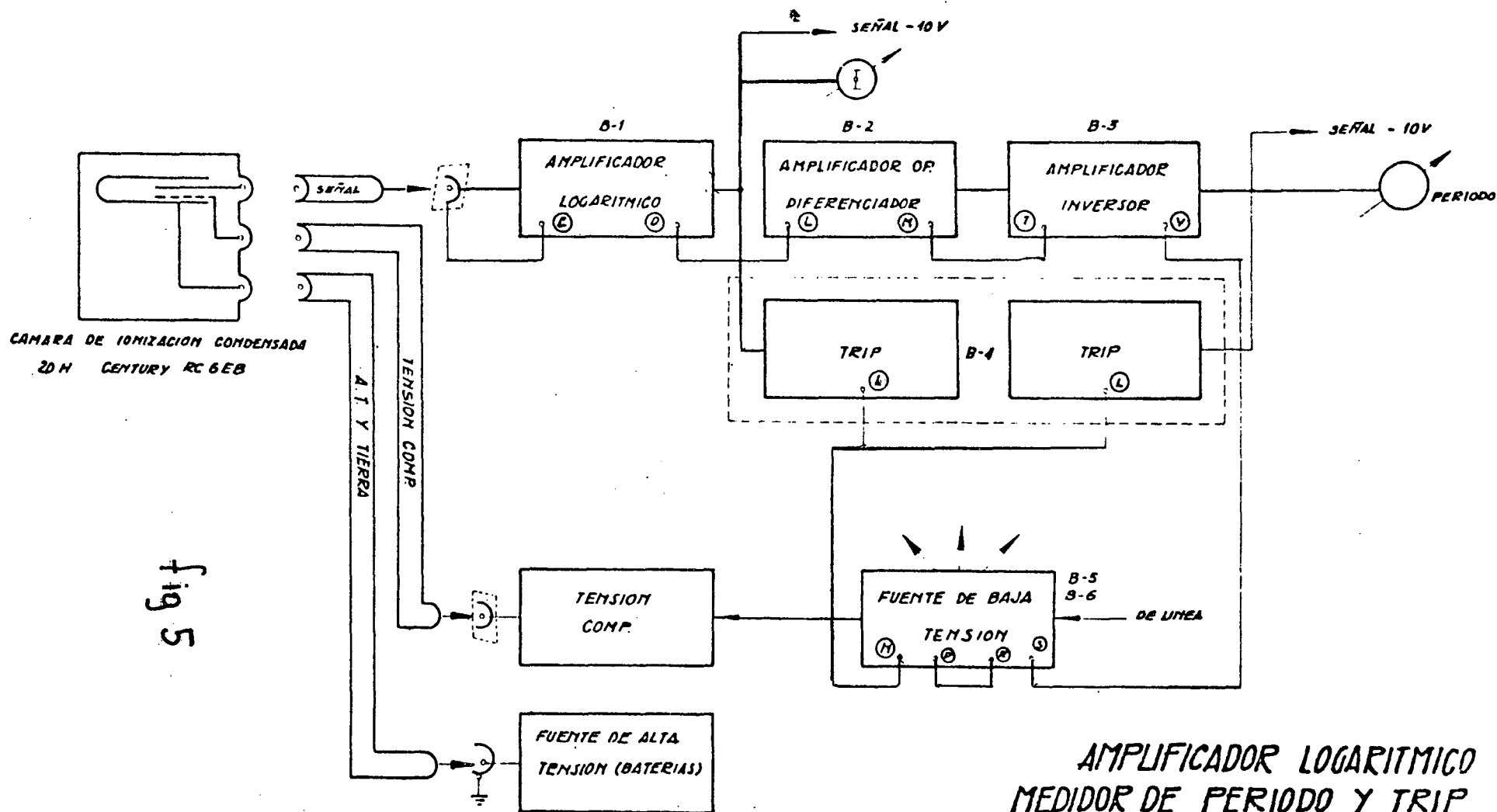


fig 5

AMPLIFICADOR LOGARITMICO
MEDIDOR DE PERIODO Y TRIP

//

El canal lineal de regulación mide en escala lineal el nivel de potencia.

Este canal está compuesto por:

A) DETECTOR

Cámara de ionización compensada (20 th. century RC 6 EB) con una sensibilidad al flujo neutrónico de 2×10^{-14} A.cm² seg/neut.

Ubicada detrás de un blindaje de plomo para reducir al máximo los efectos por γ

B) INSTRUMENTACION (ver figuras 4 y 5)

Amplificador de corriente continua totalmente transistorizado realizado sobre plaquetas enchufables con circuito impreso. Sensibilidad variable en 8 pasos de 2×10^{-8} A hasta $1,5 \times 10^{-4}$ A.

El chasis del amplificador de corriente es de diseño especial para permitir su montaje en el pupitre de comando, con lo que la llave de selección de rangos de medición queda al alcance del operador.

Un galvanómetro marca Sefran, colocado en el panel vertical en el centro del pupitre de comando , permite la lectura de la corriente de cámara. Una llave de rangos permite variar el alcance del galvanómetro a los valores:

1,5	3	7,5	15	30	75	150
-----	---	-----	----	----	----	-----

microamper a fondo de escala.

La indicación del nivel de potencia dentro del rango de medición se obtiene en un instrumento de 0 a 1 mA ubicado en el pupitre de comando.

C) REGISTRADOR

La potencia en escala lineal se registra en un registrador potenciométrico marca Remca de 10 mV y 280 mm de ancho de registro , ubicado en la parte superior

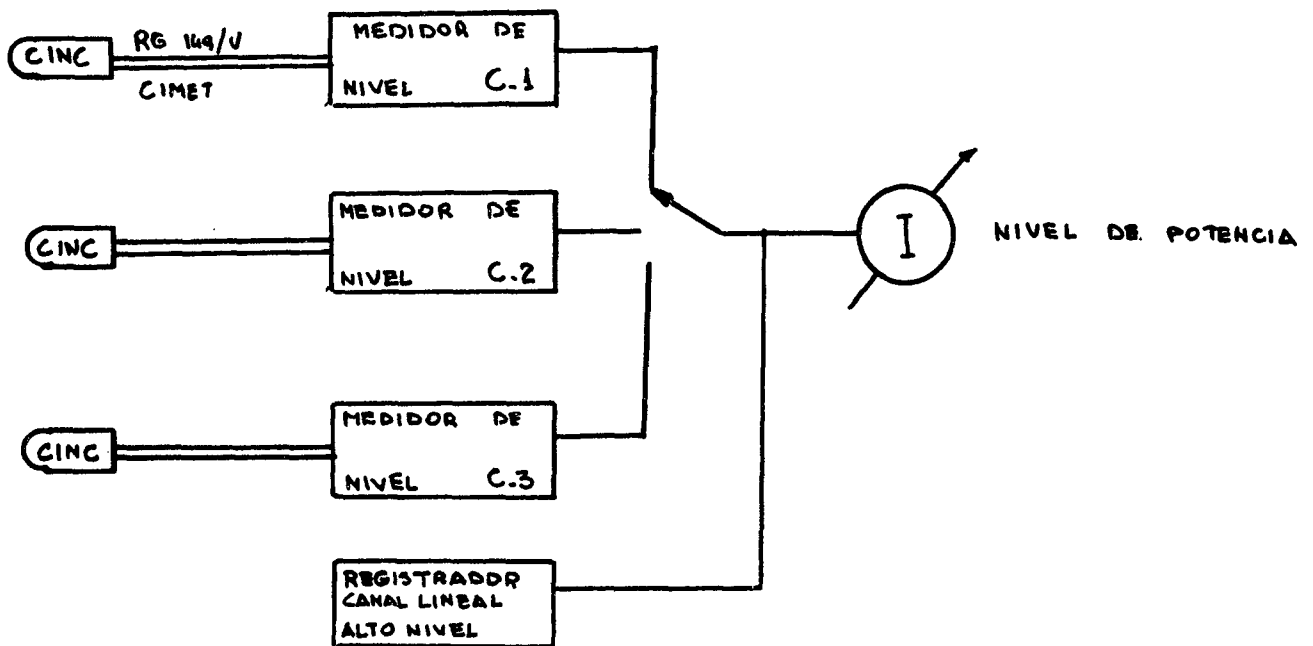
del panel 4 B. El registrador posee 150 divisiones , de tal manera que el valor nominal del rango de medición elegido coincide con las $\frac{2}{3}$ partes de la escala. El registro se efectúa entonces en porciento del valor máximo de dicho rango.

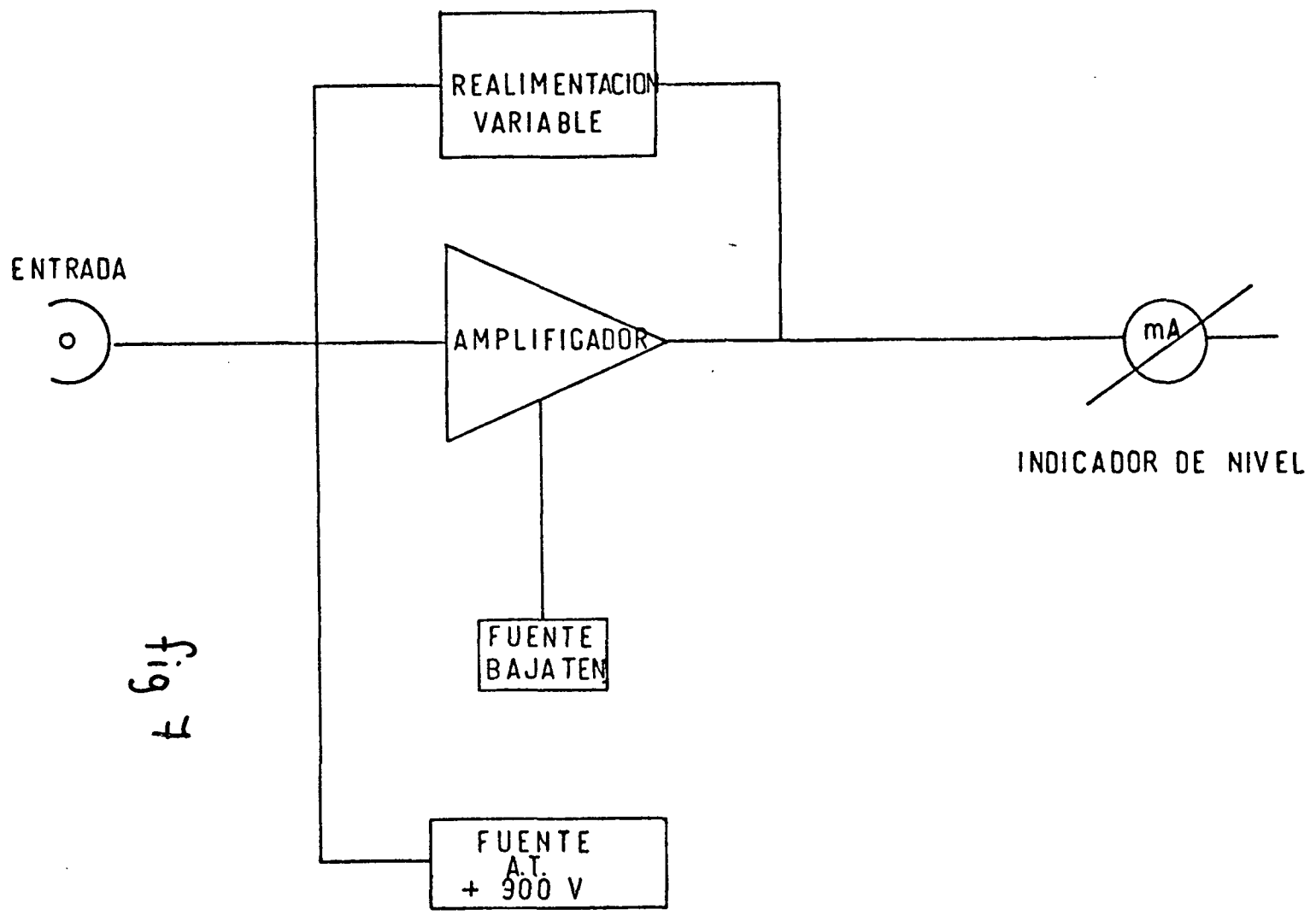
D) FUENTE DE TENSION

La tensión de polarización del detector es ajustable por pasos entre 300 y 800 volts la tensión de compensación es de signo contrario y puede adaptarse por pasos entre dichos valores.

SISTEMA DE PROTECCION

fig 6





//

Una medición lineal del flujo neutrónico en el rango de alta potencia se utiliza para producir señales de alarma y de caída de barras.

4) CANALES LINEALES DE SEGURIDAD

Está constituido por 3 canales: (ver figura 6)

A) DETECTOR

Cámara de ionización no compensada tipo 20 th century RC 7 EB ubicada en un recipiente estanco que se prolonga hasta la base del tanque .

Sensibilidad: 2×10^{-4} A cm²/seg/neut.

B) INSTRUMENTACION (ver figura 7)

Amplificador lineal de corriente continua totalmente transistorizado, tipo CNEA Modelo RT- 101 , realizado sobre plaquetas enchufables con circuito impreso, con rangos de medición : 10^{-8} , 10^{-7} , 10^{-6} , 10^{-5} , 10^{-4} amper.

C) CIRCUITO DE DISPARO INTERNO

Un circuito de disparo interno actúa si :

- se retira alguna de las plaquetas enchufables.
- falta de alta tensión en el detector-
- tensión de salida opuesta a la normal-

El contacto del relé de disparo produce una alarma que advierte a un operador acerca de la falla del equipo.

D) CIRCUITO DE DISPARO EXTERNO

(ver figura 8)

Los circuitos de disparo externo reciben señales de 0 a -10 volts. de cada uno de los amplificadores. Cada canal dispone de 3 disparos que se encuentran ajustados a los siguientes niveles :

80 %	de la potencia de trabajo	- - -	ALARMA
100 %	" " " " "	- - -	INTRODUCCION AUTOMATICA en lógica 2/3
120 %	" " " " "	- - -	SCRAM en lógica 2/3

Estos niveles se encuentran en todo momento sujetos a modificaciones de acuerdo a los distintos criterios de seguridad que se pueden utilizar en un reactor nuclear. Las cámaras de ionización se colocan de tal manera que a fondo de escala del rango menos sensible (10^{-4}) la potencia del reactor sea 150 % de la nominal.

Cada circuito de disparo posee un relé , cuyos contactos se encuentran en cadena en serie con otros que producen la misma acción. Los contactos de los relé que se accionan en el nivel más alto se encuentran conectados formando un circuito 2/3 , es decir que es necesario que en 2 canales se alcance ese nivel para que se produzca la acción de seguridad prevista.

De la misma manera se encuentran conectados los contactos del nivel intermedio , que nos da introducción automática, formando parte de una cadena de contactos diferentes ya que la acción de seguridad es de otro tipo.

Finalmente los contactos de los relé comandados en el nivel más bajo están conectados simplemente en serie , pues la acción que provoca es una alarma en cualquier canal de medición.

E) INSTRUMENTOS

Cada uno de los amplificadores posee en el panel frontal un instrumento de 0 - 1 mA , que indica el valor relativo de la corriente con relación al valor máximo del rango seleccionado.

DISPARO DE SEGURIDAD

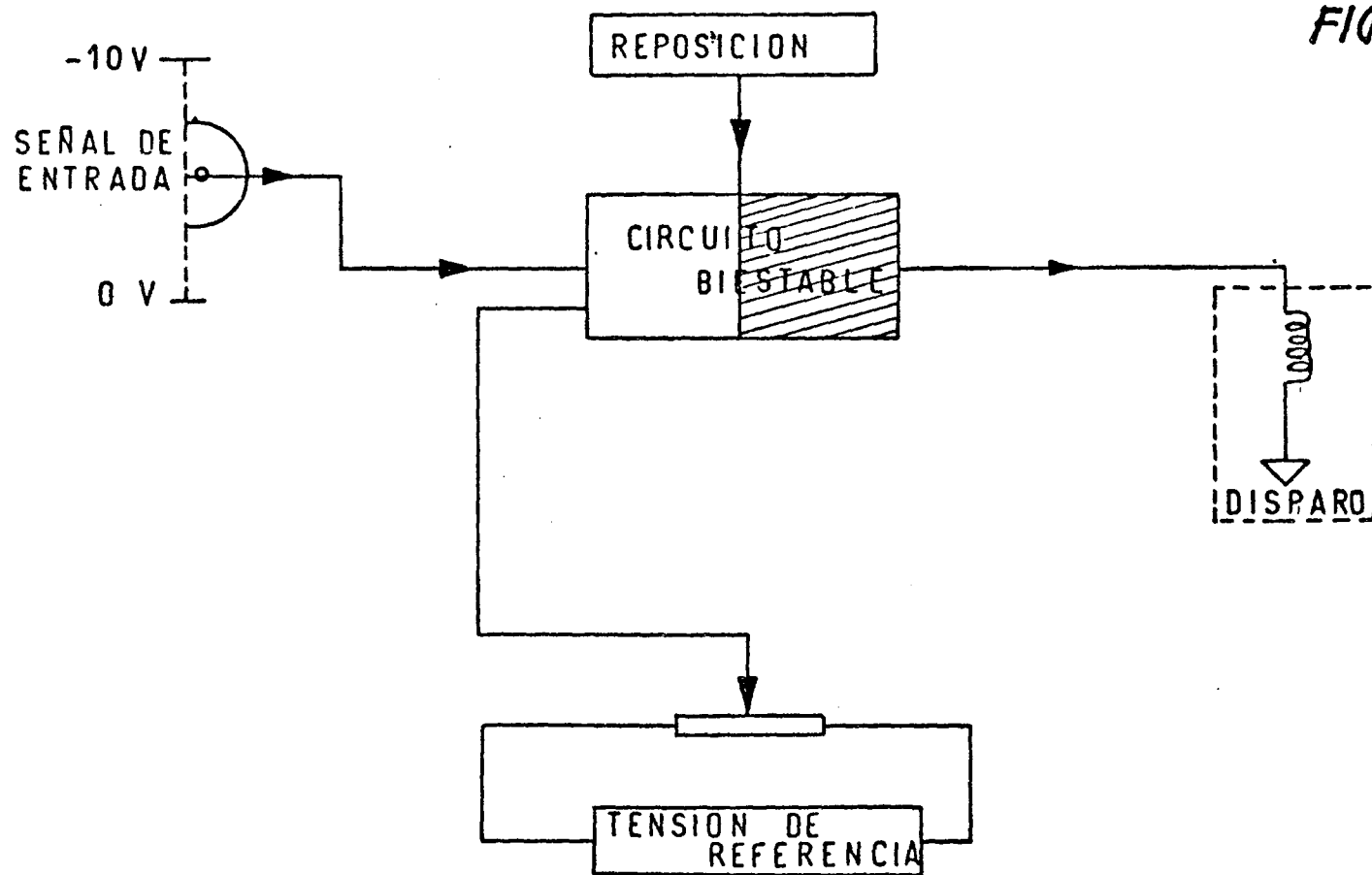
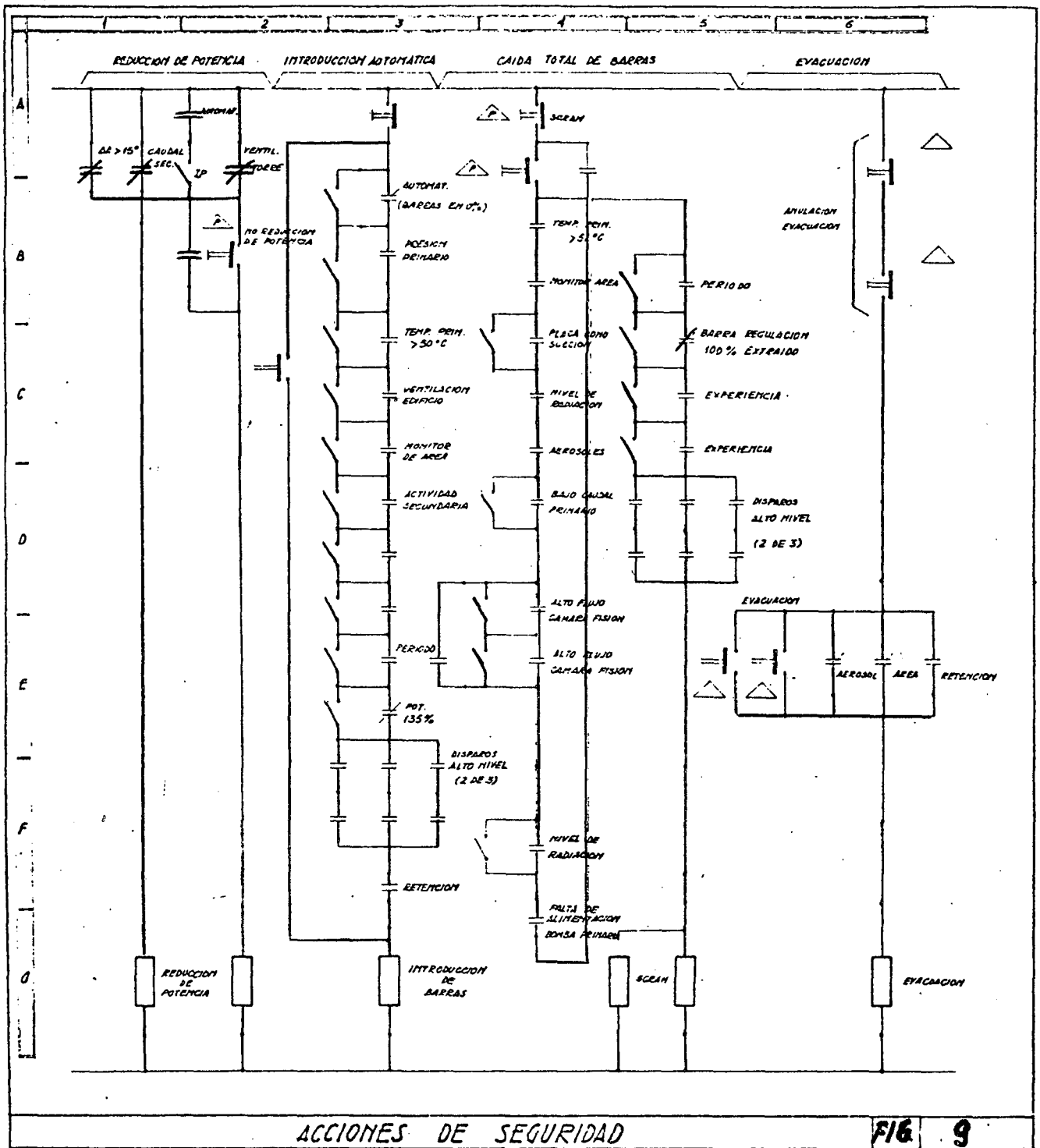


FIG. 8

En la siguiente figura 9 vemos la cadena de seguridad con los contactores conectados en serie según las acciones que provoquen como ser reducción de potencia, introducción automática y SCRAM.



F) REGISTRADOR

Un registrador potenciométrico de 10 mV y 280 mm de ancho de registro con medición de 0 a 10, ubicado en la parte superior del panel 5 A, permite registrar la evolución de la potencia de uno de los tres canales.

G) FUENTE DE TENSION PARA LOS DETECTORES

La fuente de tensión para polarizar los detectores puede variarse entre 0 y 900 volt. en pasos de 10 v; es totalmente transistorizada y construida sobre circuito impreso. La fuente se encuentra ubicada dentro del mismo rack de los instrumentos.

DISPOSICION DE LOS DETECTORES Y BARRAS DE COMPENSACION-SEGURIDAD EN EL NUCLEO

La configuración del núcleo del reactor, si bien no es perfectamente geométrica presenta una uniformidad dentro de todo bastante aceptable, de ahí que el valor en reactividad de las barras de control sean con algunas tolerancias practicamente iguales y ese valor oscila alrededor de los 4500 pcm aproximadamente.

Por dicha razón la lógica de comando nos permite seleccionar cualquiera de las 4 barras de control, como barra de seguridad, ya que por definición la barra de seguridad es aquella que mecánicamente es la que mejor funciona y es capaz de detener la actividad del núcleo del reactor por su propio peso en reactividad. Para poder ubicar un determinado elemento en el núcleo, la grilla donde se colocan los elementos combustibles y los detectores, cuenta con un sistema de coordenadas formadas por letras que van desde la " A " hasta la " J " en el eje de las abscisas y por números del 1 al 8 en el eje de ordenadas. Es así que en las posiciones : D4, E3, E5, y F6 encontramos los elementos combustibles que contienen las barras de compensación-seguridad números 2 , 1 , 3 y 4 respectivamente y también estan ubicados los detectores del canal de arranque, es decir la cámara de fisión 1 en la posición J3 y la cámara de fisión 2 en la posición J5.

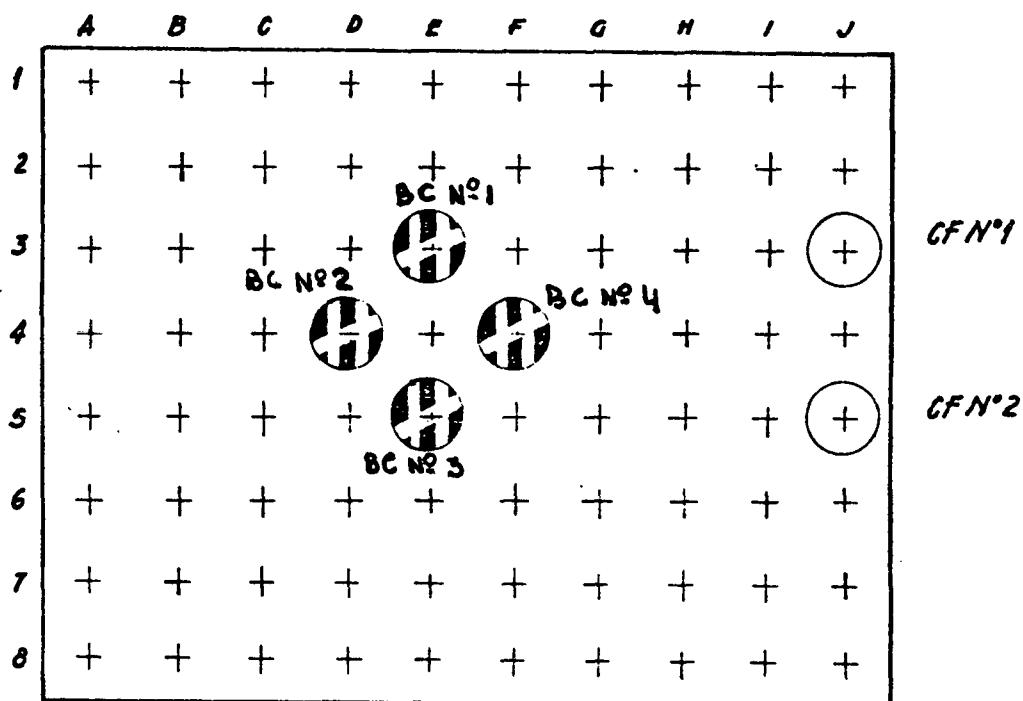
Hacia el lado de consola se puede distinguir un recipiente estanco donde estan ubicados el resto de los detectores de los canales de marcha y de potencia.

(ver figura 10')

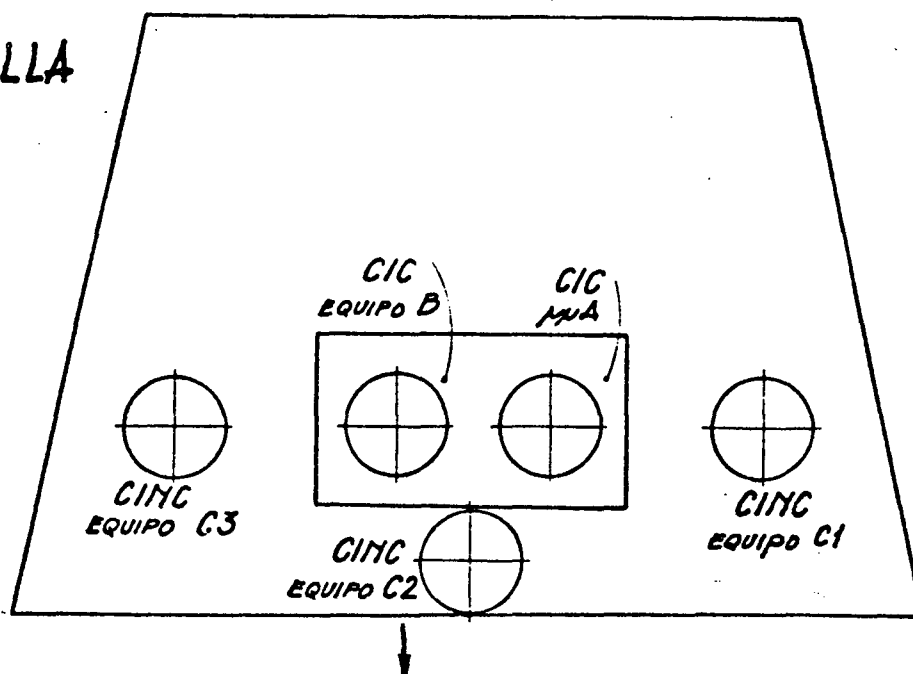
UBICACION DE LOS DETECTORES

FIG. 10

NUCLEO



GRILLA



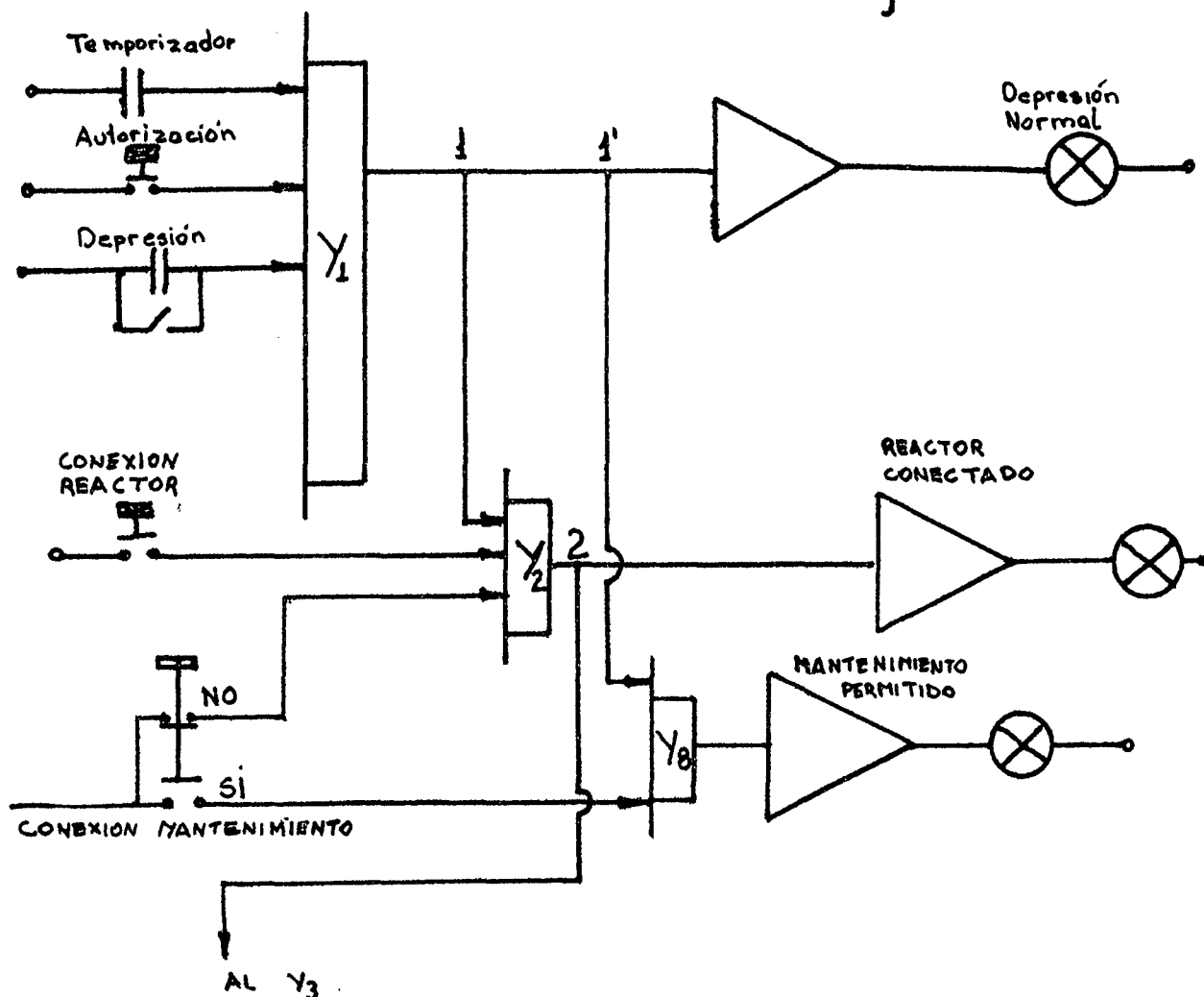
CONSOLA

LOGICA DE ENCLAVAMIENTO

Para poder iniciar el ascenso de las barras de control, es necesario que un cierto número de condiciones se cumplan previamente. De ellas, algunas son comunes a cualquier operación y otras difieren según el reactor se lleve a un nivel inferior de 10^{-5} de la potencia nominal o a un nivel superior. Las condiciones para el primer caso corresponden a las condiciones de "arranque" mientras que en el segundo caso corresponden a las condiciones de "marcha".

A continuación vemos un diagrama lógico sintetizado donde se explica cómo se obtienen las condiciones de "arranque permitido" y "marcha permitida" para poder tener el ascenso de barras permitido y llevar el reactor a crítico.

fig 11



Por tratarse de una operación en donde es preciso que no falte ninguna condición para lograr el " arranque " partimos de un circuito lógico Y donde en todas sus entradas debe haber señal para tener así señal a la salida. Estas señales provienen de distintos detectores en todos los sistemas del reactor , por ejemplo: tenemos una señal que nos dice que hay tensión en las bombas del circuito primario de refrigeración , como así también hay señales que llegan a los circuitos lógicos de los detectores que miden parámetros del flujo neutrónico del reactor. Es así que conectando paso a paso todos los sistemas del reactor llegamos a la condición deseada.

En este primer circuito vemos que al "Y₁" le llegan señales a sus patas de (fig 11)

- TEMPORIZACION- con esto se lograba un tiempo mínimo de calentamiento de los equipos de consola , condición actualmente desconectada.

-AUTORIZACION-se logra esta condición con la llave del jefe de operaciones que " autoriza " la operación.

-DEPRESION- es preciso como seguridad del reactor que la depresión del recinto sea la suficiente para evitar el escape de aerosoles al exterior.

Con señal en el punto 1 entramos al circuito Y₂ al cual por otro lado le llega información de :

- CONEXION REACTOR- es decir se habilita la consola de comando (pupitre).

- CONEXION MANTENIMIENTO NO -

Con estas condiciones puestas tenemos señal en el punto 2 y por lo tanto llegamos a conseguir " REACTOR CONECTADO ".

En este segundo circuito Y_3 entramos con las siguientes informaciones : (fig 12)

- señal proveniente del punto 2 del circuito Y_2 -
- por lo menos una de las dos cámaras de fisión debe estar en reposo-

En esta última condición las señales de las cámaras de fisión llegan a 2 circuitos 0 negados y las salidas entran en otro circuito O_1 , cuando las 2 cámaras están moviéndose, a la salida de los 0 negados no hay señal por lo tanto tampoco lo habrá en el O_1 , en consecuencia el Y_3 no da señal y de esta manera se detiene el proceso de subida de barras cuando las dos cámaras están en movimiento. Esto es lógico puesto que cuando las cámaras se están moviendo juntas, ya sea subiéndolas o bajándolas no tenemos lecturas de la evolución del flujo neutrónico ni con una cámara ni con la otra, y al no tener información del número de cuentas es preciso detener el proceso de subida de barras. Si en cambio una de las cámaras está en reposo hay señal de salida en un 0 negado y por lo tanto lo habrá en el O_1 .

- período mayor que 30 seg. en el canal 1 -
- período mayor que 30 seg. en el canal 2 -
- llave selectora de rangos en su menor posición -
- número de cuentas en el registrador de pupitre mayor que 16 por seg y menor que 5×10^4 cuentas/seg. -
- nivel de potencia indicado por el canal logarítmico de alto nivel menor que 10^{-5} de la potencia nominal -

Este canal cuenta con un regulador que se fija en el nivel deseado, una vez fijado ese valor entrega una tensión de disparo de 3 volts. a la lógica cuando se llega a la potencia deseada y permite el paso de " arranque permitido" a " marcha permitida ".

Con señal en el punto 3 tenemos "arranque permitido", entrando ahora con esta señal en Y_4 y con la llave conmutadora en posición correcta tenemos ARRANQUE.

Con señal en el punto 4 entramos en el O_2 y basta una sola señal de entrada para obtener salida. Con esta salida y una señal de 400 Hz nos permite el Y_5 el COMANDO DE BARRAS.

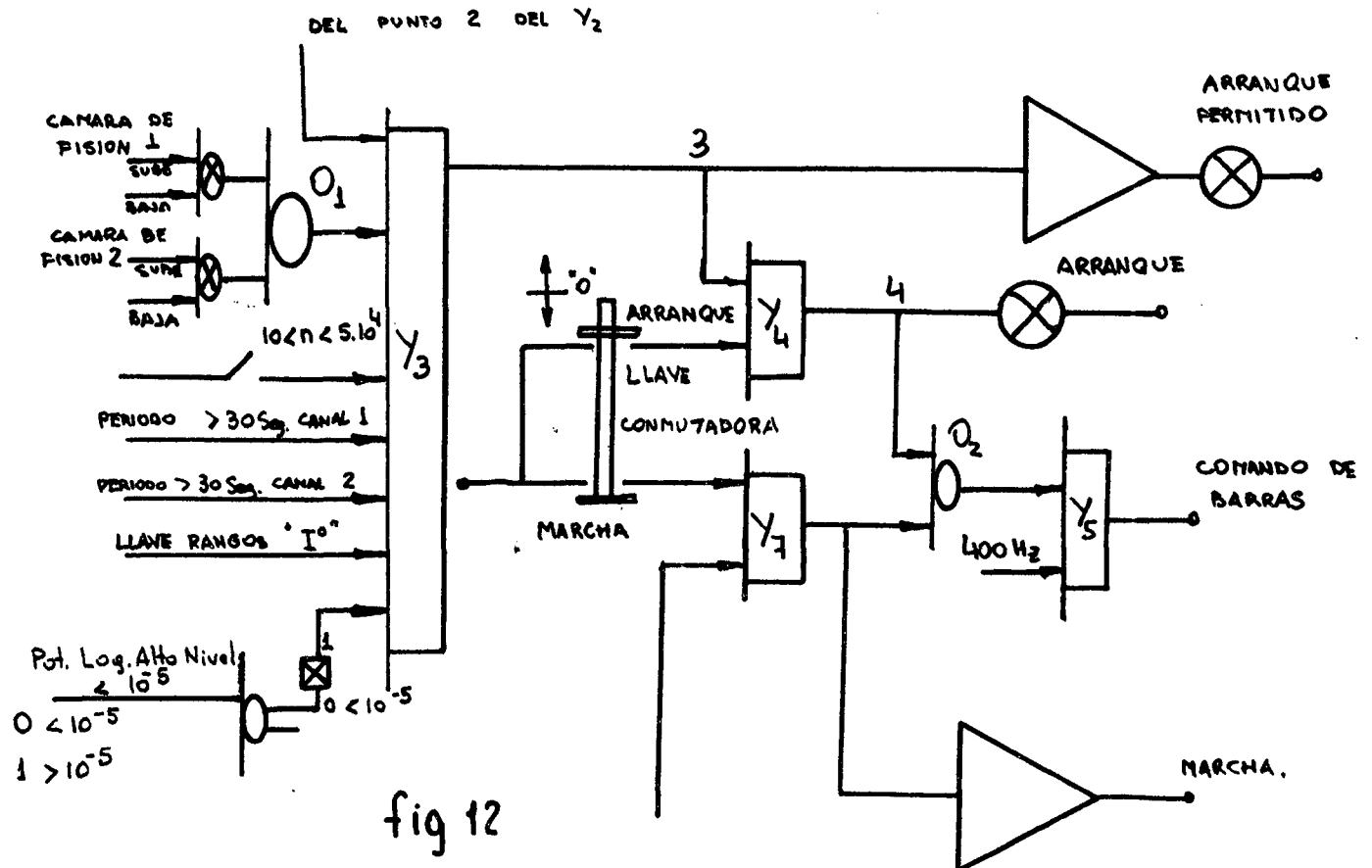


fig 12

Cuando el B_{11} se nos dispara, es decir potencia en canal logarítmico mayor que 10^{-5} se hace el cambio del canal de arranque al canal de marcha. A continuación las cámaras ya no está en condiciones de seguir midiendo y es preciso llevarlas a su límite superior, entramos entonces en otro tipo de circuito lógico con condiciones diferentes a las anteriores: (ver figura 13)

- cámaras de fisión en límite superior -
- placa del cono de succión cerrada -

Es decir las bombas del circuito primario deben estar en funcionamiento para que la placa del cono de succión esté cerrada. De esta manera se logran dos condiciones

- 1) bombas primarias encendidas
- 2) circulación correcta del refrigerante.

- periodo en el canal logarítmico de alto nivel mayor que 20 seg -

Con estas condiciones tenemos salida en Y_6 y por consiguiente MARCHA PERMITIDA. Con esta señal y la llave conmutadora en posición de marcha el Y_7 nos da salida para entrar en el O_2 y poder tener así nuevamente COMANDO DE BARRAS.

La llave de CONEXION MANTENIMIENTO en posición si permite el testeo de los mecanismos de barras sin tener que colocar todas las condiciones previas mencionadas anteriormente. Es así como con señal del punto 1' y conexión mantenimiento en SI el Y_8 nos permite la condición MANTENIMIENTO PERMITIDO.

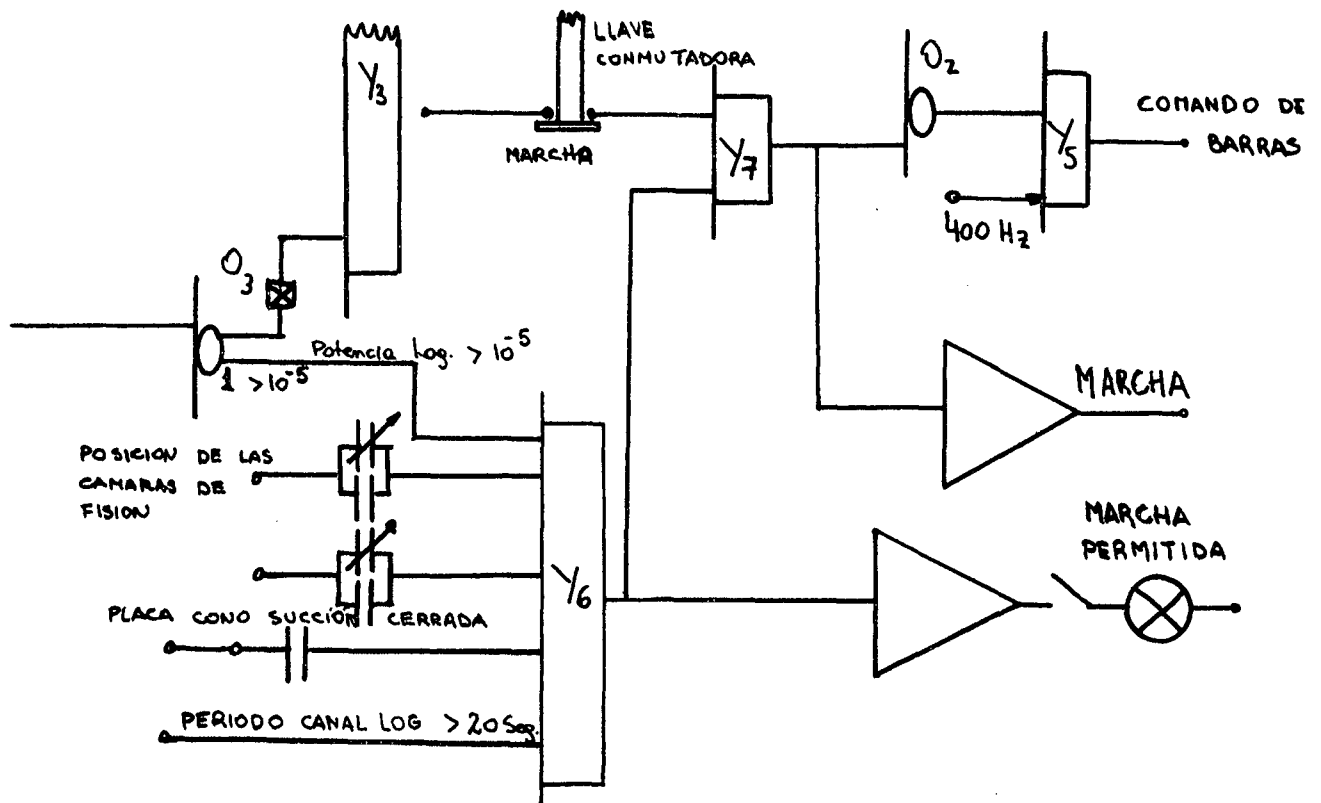
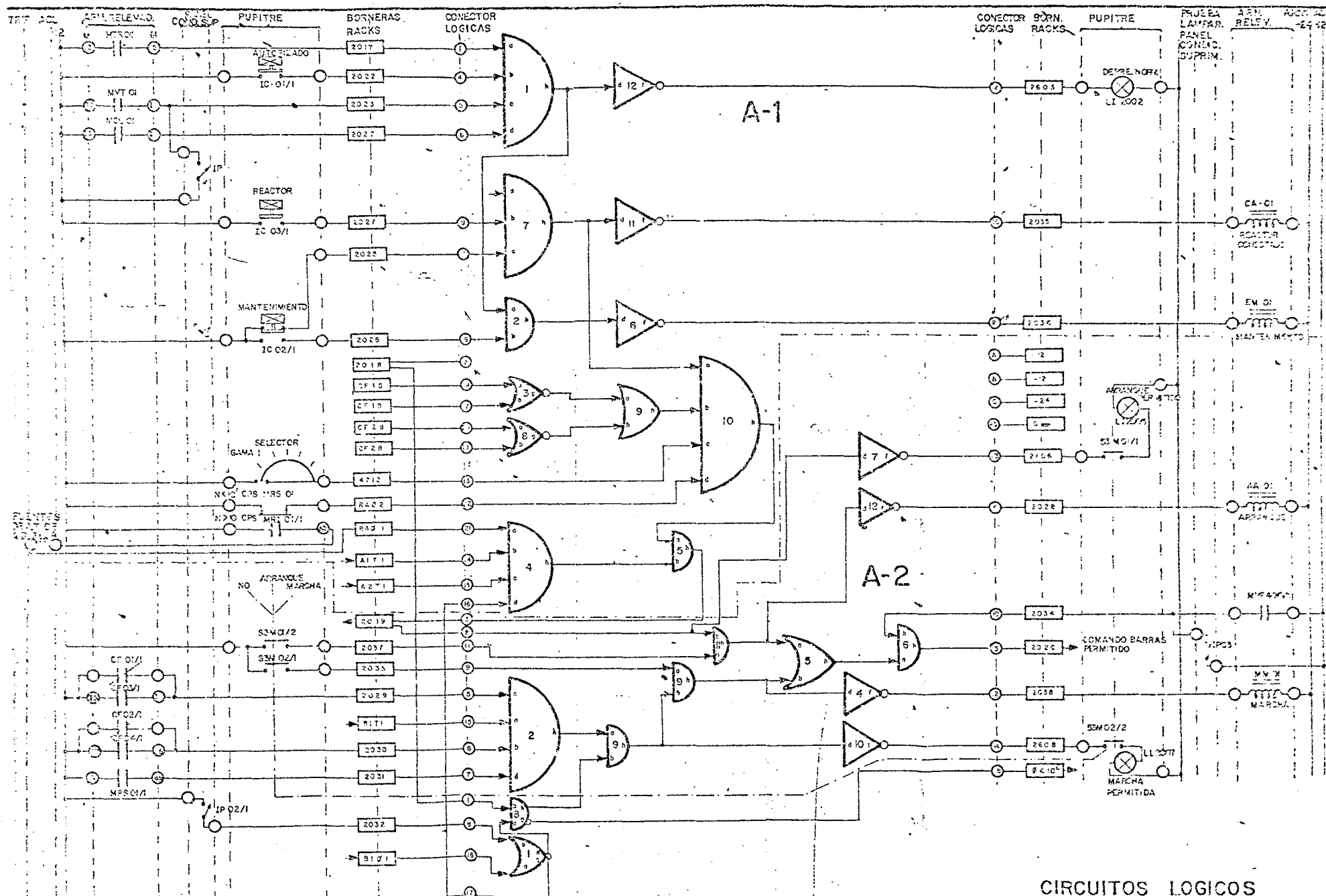


fig 13



ASCENSO DE BARRAS

Para lograr el ascenso de barras, la llave conmutadora debe estar en posición ARRANQUE o en posición MARCHA, para llegar a potencia. También debe estar la tensión de línea de 400 Hz de alimentación de los sincro-indicadores de posición de barra.

En el panel central del pupitre de comando existen 2 selectores a botonera, de 4 elementos cada uno. El selector de la izquierda, selecciona la barra en función seguridad, es decir, es la primer barra que debe seleccionarse y llevarla a su extremo superior. El selector de la derecha selecciona la barra en función de compensación.

ASCENSO DE LA BARRA DE SEGURIDAD

Eligiendo primero una tecla " i " (entre 1 y 4) del selector de barra de seguridad y con el electroimán energizado y barra acoplada correspondiente a esa barra " i " seleccionada, se acciona el interruptor en el sentido " subir " y esta posición debe ser mantenida por el operador hasta que llegue a su límite superior en que se detiene automáticamente. Una vez iniciado el ascenso de la barra seleccionada, " i " la selección de cualquier otra barra y por lo tanto su movimiento quedan bloqueados. No hay condición que indique el descenso de la barra.

ASCENSO DE LAS RESTANTES BARRAS

Cualquiera de las restantes barras puede elegirse para el ascenso en función de compensación a continuación de la barra de seguridad.

Las barras suben individualmente y se asegura por la imposibilidad de conectar más de una barra por vez en el teclado del selector de barras de compensación. Si se quiere utilizar como barra de compensación una barra que ya ha sido subida como barra de seguridad, debe seleccionarse primero en el teclado de barra de compensación, una nueva barra para que pueda ser usada como barra de seguridad y seleccionarla con el teclado de barra de seguridad cuando ésta haya llegado al 100 % y luego utilizar la anterior barra de seguridad como barra de compensación utilizando el selector de barra de compensación.

Para subir cualquiera de las restantes barras es necesario:

- que la barra de seguridad esté en el límite superior.-
- seleccionar la barra con la tecla " i " en el selector de barra de compensación.-
- electroimán energizado y barra acoplada.-
- que no hay orden de introducción de barras.-
- accionar el interruptor en posición subir .-

Las barras pueden subirse hasta su extremo superior una a una o bien parcialmente y sucesivamente una a una. En las figuras 14, 15, y 16 se dan los diagramas de flujo del ascenso de barras y de la llegada a la potencia de trabajo.

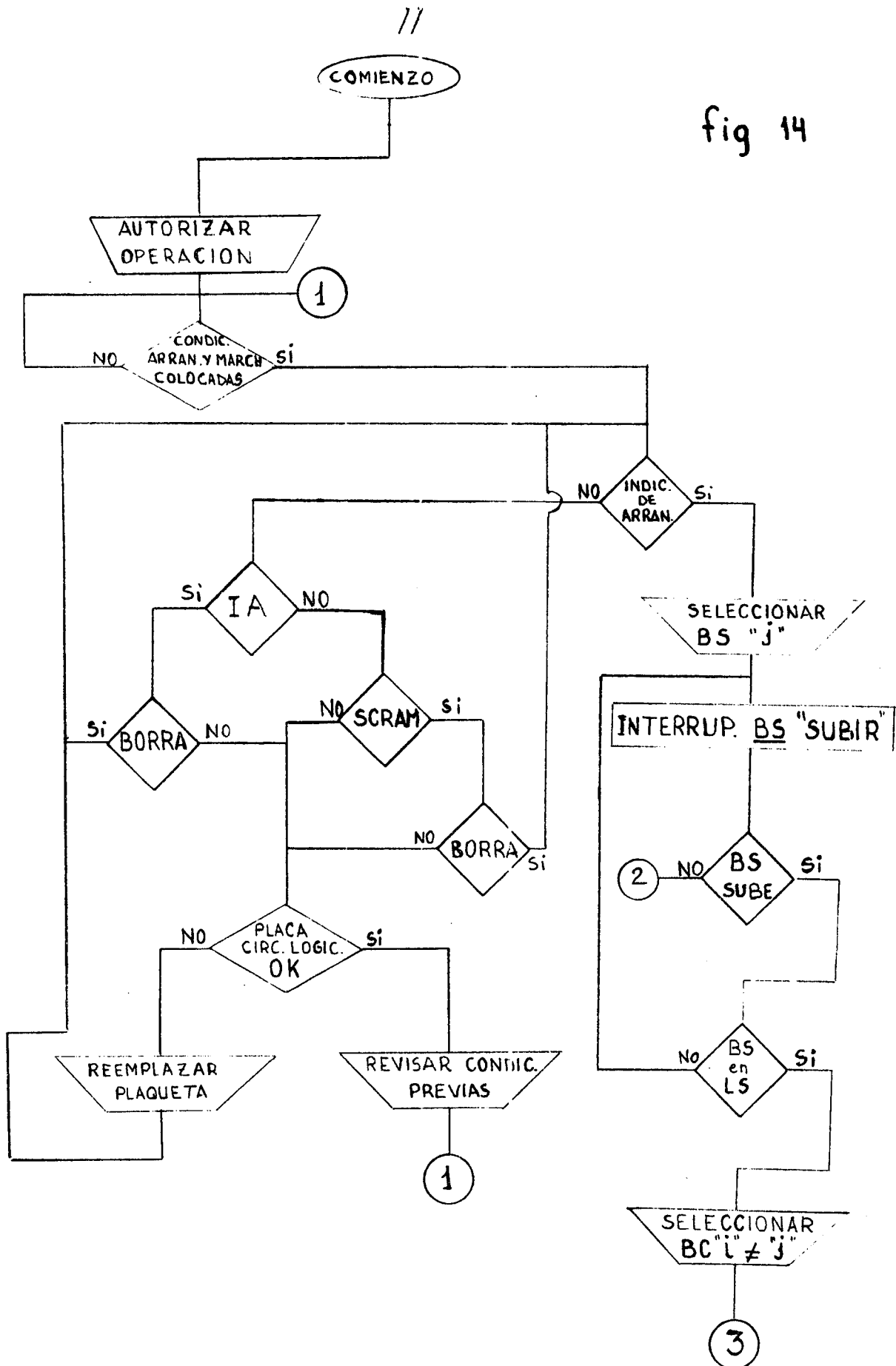
DESCENSO DE BARRAS

El descenso de barras de compensación puede efectuarse sin ninguna condición previa. Pueden bajarse una a una accionando el interruptor en posición bajar o haciendo introducción automática para que bajen todas al mismo tiempo.

Si se bajan una a una la barra de seguridad desciende cuando las restantes barras están en su límite inferior, en cambio si se hace introducción automática es preciso deseleccionarla del selector de barra de seguridad.

Después de un SCRAM los mecanismos descienden hasta ponerse en contacto con las barras.

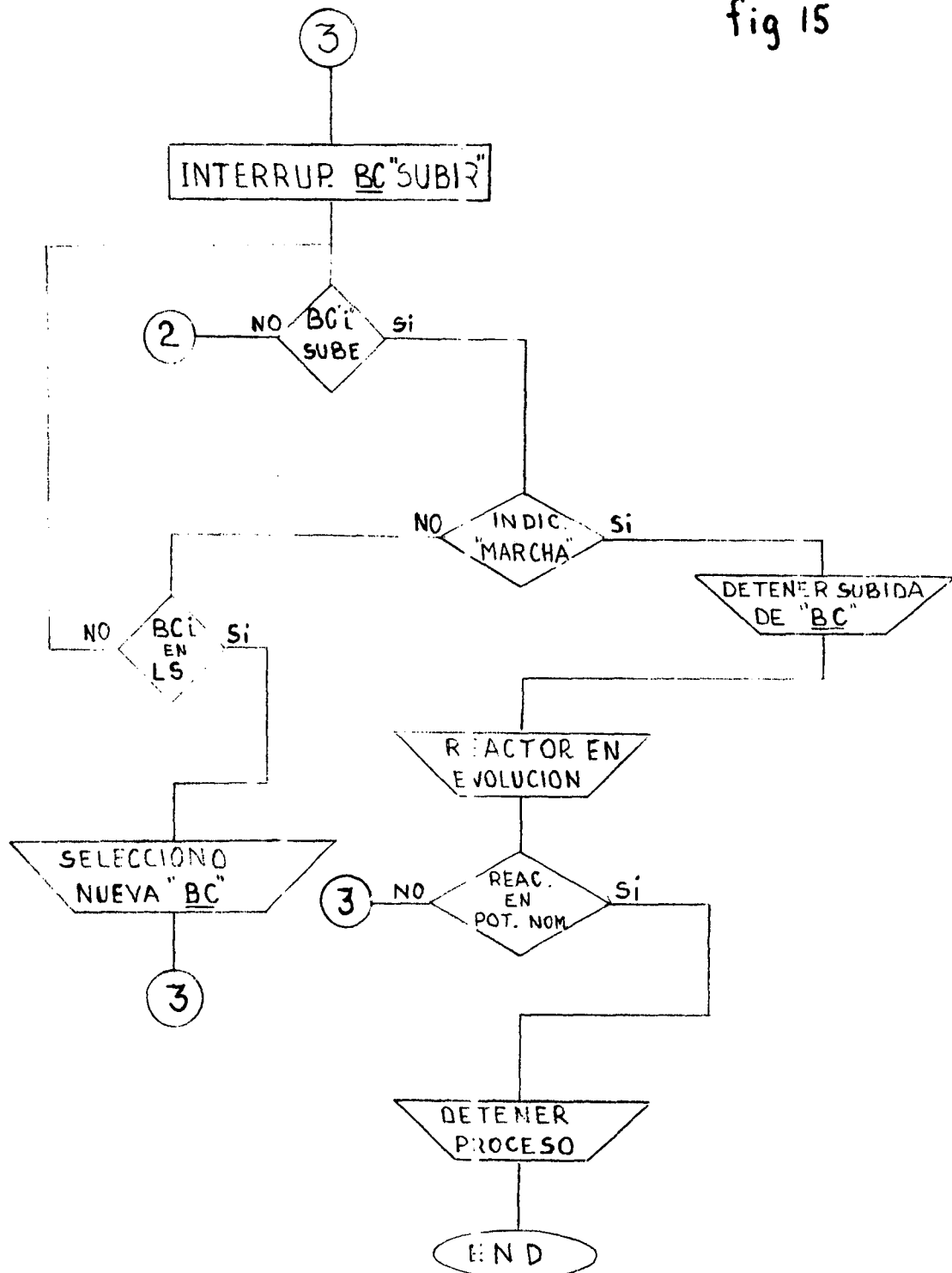
fig 14



//

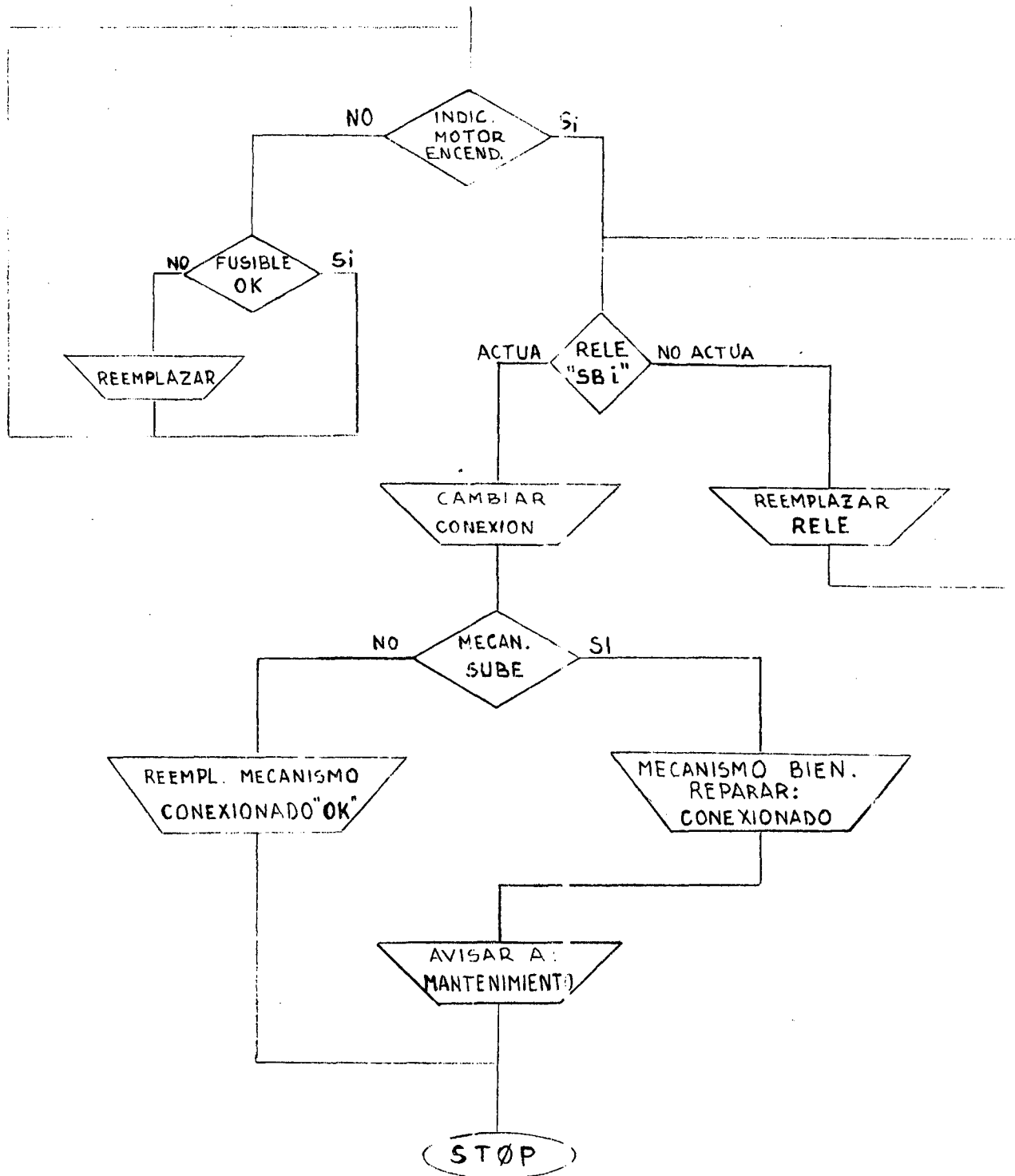
página 54

fig 15

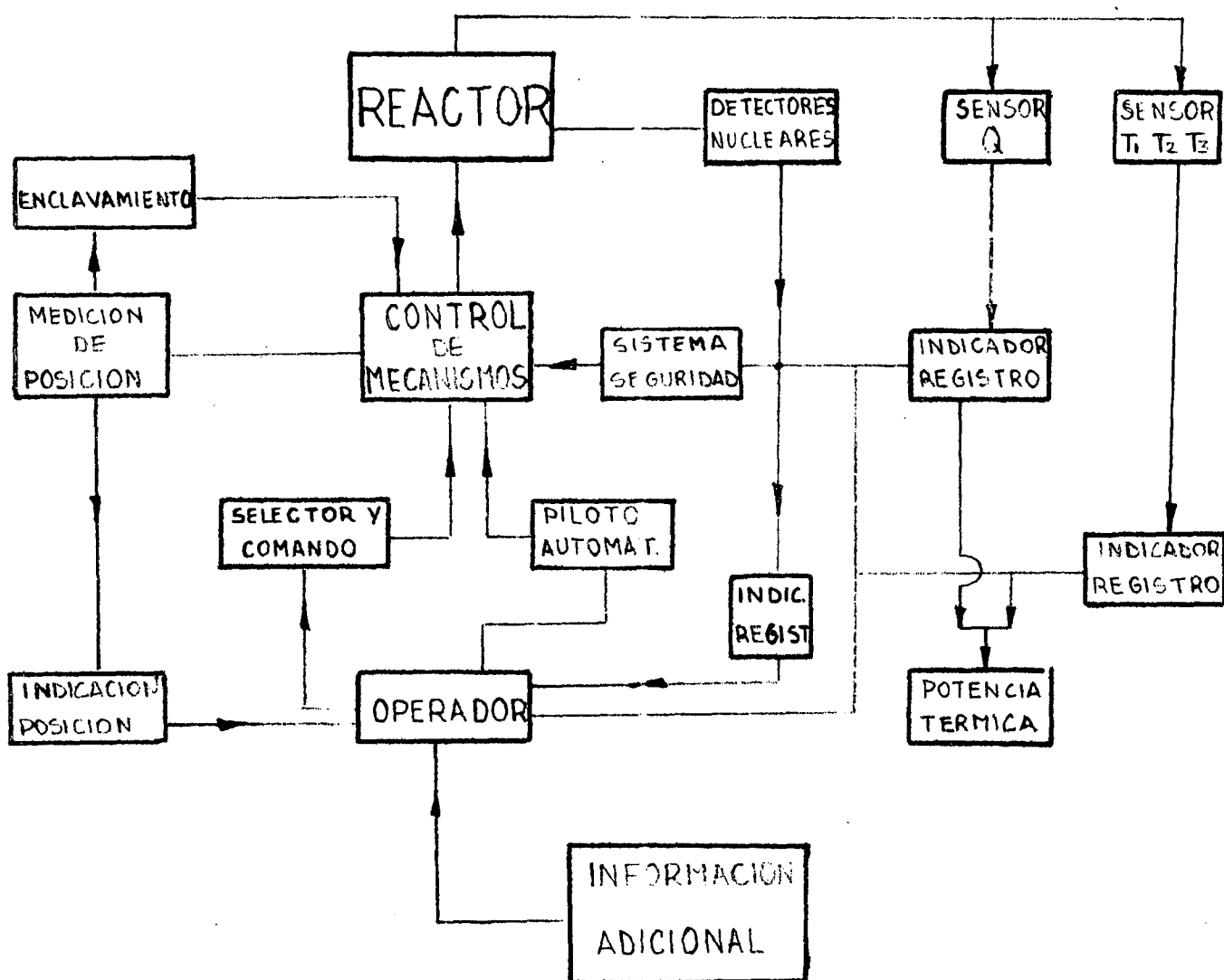


//

fig 16



El operador desde su posición en la consola debe tener conocimiento en todo momento de lo que está pasando en el reactor sin moverse en lo posible de su lugar. Es así que existe un diagrama de flujo de la información que le llega al operador de todos los detectores nucleares y convencionales que hay en el reactor. El siguiente diagrama ejemplifica lo dicho anteriormente en el cual se representa el recorrido de la información desde el lugar donde se produce hasta el lugar donde llega que es fundamentalmente al operador.



ENSAYO " SUBIR MECANISMOS "

El ensayo "subir mecanismos", permite verificar su buen funcionamiento sin necesidad de subir las barras.

La prueba de mecanismos es individual y puede realizarse cuando los electroimanes de las 4 barras esten desenergizados, para evitar subir las barras.

ENSAYO " BAJAR MECANISMOS "

No necesita condición para el descenso y puede hacerse simultáneamente los 4 mecanismos.

OPERACION MANTENIMIENTO

La conexión del interruptor con la cerradura " MANTENIMIENTO " ubicado en el panel número 5 del pupitre de comando, tiene por objeto impedir cualquier posible operación del reactor durante la realización de trabajos dentro del tanque o en el recinto principal.

La luz de mantenimiento enciende si :

- instrumentación conectada.-
- llave AUTORIZAR conectada.-
- depresión recinto.-
- cámaras de fisión en posición.-

Cuando estas condiciones se cumplen se encienden en el pupitre la indicación " NORMAL ". El operador debe conectar el interruptor " MANTENIMIENTO " y luego llevar a cabo las operaciones.