

08.74.03

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| C.N.E.A. Biblioteca   |             |
| ARCHIVO PUBLICACIONES |             |
| Nº<br>1               | AÑO<br>1974 |

CNA/21

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA  
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

CENTRAL NUCLEAR EN ATUCHA

ELEMENTOS COMBUSTIBLES DE LA CENTRAL NUCLEAR ATUCHA

Ing. R.O. Cirimello

Buenos Aires-Argentina

-1974-

## 1. CARACTERISTICAS DE LOS EC EN FUNCION DEL DISEÑO REACTOR

A continuación se dan las características que deben tener los elementos combustibles (EC) para satisfacer los requerimientos del diseño del reactor:

| CARACTERISTICA REACTOR                                                                                                            | CARACTERISTICA EC                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Recambio de EC en servicio                                                                                                        | Vínculo EC-tapón de cierre al canal                                                                               |
| Núcleo vertical                                                                                                                   | -Recambio columna total EC<br>-EC suspendido                                                                      |
| Recipiente de presión                                                                                                             | Extensión EC propiamente dicho para atravesar volumen-tapa (cuerpos de relleno)                                   |
| Uranio natural como combustible                                                                                                   | Bajo volumen material estructural (alta relación U/M). Material estructural de baja sección de captura neutrónica |
| Parte de la columna inserta en el canal de refrigeración reutilizable (consecuencia recipiente de presión + recambio en servicio) | Acoplamiento exento de juego axial y posible de acoplar bajo agua                                                 |
| Salida radial refrigerante y reflector axial                                                                                      | Extensión ad-hoc por encima zona activa EC                                                                        |
| Canal separador refrigerante-moderador                                                                                            | Vínculo EC-Canal                                                                                                  |

(VER FIGURA 1)

El recambio de elementos combustibles durante el funcionamiento del reactor desde la parte superior hace necesario que el EC esté unido al sistema de cierre o tapón del canal de refrigeración, para poder extraerlo del núcleo.

Como el núcleo es vertical, se debe extraer durante un recambio toda la columna insertada en el canal de refrigeración. El vínculo entre el EC y el tapón de cierre y entre éste y el canal de refrigeración obliga a suspender el EC del cierre, a menos que existiera un sistema de compensación de longitud que permitiera apoyar el

extremo inferior del EC, lo cual afectaría la estabilidad vibratoria del conjunto por efecto de la circulación de refrigerante.

Los reactores a recipiente de presión con grandes volúmenes muertos en la zona de la calota inferior y la tapa, llevan cuerpos de relleno. Estos cuerpos de relleno deben ser atravesados por la extensión de los canales de refrigeración por donde son extraídos los EC. Por ello entre el tapón de cierre al canal y el EC hay una distancia considerable, la cual requiere ser salvada por un cuerpo intermedio o vínculo que en el caso que nos ocupa se llama "cuerpo de relleno".

El uso de uranio natural como combustible conduce a considerar con atención la economía neutrónica. Por ello debe reducirse al mínimo la cantidad de material estructural que se utiliza en el EC maximizando la relación  $UO_2$ /material estructural. Por otra parte debe prevenirse el uso de materiales estructurales con alta sección de captura neutrónica.

Teniendo en cuenta que existen partes de la columna que se inserta en el canal de refrigeración que son reutilizables, deben existir vínculos desmontables (acoples) que permitan separarlas del EC (ya irradiado), operación que se efectúa debajo de agua, por razones obvias de seguridad radiológica.

Por razones de rendimiento neutrónico existe un reflector axial encima y debajo de la zona activa. Por ello el refrigerante deberá salir del canal arriba de la tapa del recipiente del moderador. Ello exige que el elemento combustible se prolongue por encima de la zona activa para atravesar el espesor de reflector y el del plenum de salida de refrigerante. Podría obviarse tal extensión si el cuerpo de relleno llegara hasta la zona activa, pero por razones de economía neutrónica impiden colocar un volumen considerable de material estructural en la zona de reflector.

Finalmente, la existencia de un tubo separador del refrigerante y moderador exige un vínculo entre este canal y el EC a fin de prevenir una interacción perjudicial para ambos y el centrado del EC.

## 2. DESCRIPCION DEL ELEMENTO COMBUSTIBLE

### 2.1. Conjunto

La figura 2 muestra un esquema del EC completo, el cuerpo de relleno y el cierre al canal, los cuales están vinculados por un acople. El EC propiamente dicho comienza en la parte inferior del acople al cual están unidas 3 barras de acero que atraviesan el

espacio del plenum de salida de refrigerante y 6 tubos de Zircaloy 4 lo hacen en el reflector superior. A continuación hay una placa portante de la que cuelgan 36 barras combustibles, un tubo portante de las zapatas elásticas de ajuste del EC al canal y 14 separadores. El mantenimiento de la posición y tolerancia de las barras combustibles a lo largo del elemento se logra por medio de los separadores, el último de los cuales lleva adosado un sistema de apoyo elástico para prevenir el efecto de las vibraciones inducidas por la circulación de refrigerante.

El vínculo entre las barras combustibles y los separadores se verifica por medio de patines deslizantes fijos a la vaina. Nueve barras combustibles de la corona exterior tienen un encastre en los patines deslizantes para fijar en la posición axial los separadores. El resto pueden deslizarse para permitir dilataciones diferenciales. El extremo inferior del elemento es libre por la misma razón.

El posicionado del elemento combustible en el canal se efectúa por medio de zapatas fijas a los separadores y las zapatas elásticas. A fin de mejorar la performance vibracional del EC y prevenir problemas de desgaste los elementos del tercer y cuarto núcleo llevarán un separador más, se agregará una zapata elástica tangencial en el último separador y se acortará el EC en 150 mm para alejar el extremo inferior de las toberas de entrada de refrigerante. El acortamiento se hace a expensas del espacio para gases de fisión inferior (70 mm) y 80 mm del varillaje. En la Tabla 1 se dan datos de pesos y materiales de los componentes del EC. La figura 3 muestra una sección transversal del EC.

## 2.2. Acople (figuras 4 y 5)

Se usa como unión del elemento combustible y el cuerpo de relleno y entre éste y la pieza que lleva el cierre al canal. Cada acople consiste en dos cilindros, llamados parte superior e inferior, separados por una superficie inclinada a  $15^\circ$ . Cada parte del acople lleva un medio anillo fijado por tornillos, que encajan en estado acoplado en una entalla circular de cada parte del acople.

Durante el acoplamiento ambas partes deslizan radialmente hasta coincidir exactamente en sentido axial. Lleva un seguro, que impide el desacople, consistente en un perno o pasador que está alojado en la parte superior y desliza por presión de un resorte, hacia abajo. El pasador tiene en su extremo inferior un cono de  $30^\circ$  que calza en un agujero cónico de la parte inferior del acople, con una excentricidad de 1 mm. Esta excentricidad radial sirve para ajustar ambas partes del acople, una contra otra.

La parte cónica del acople impide el desacople, ya que quedan dos superficies a 90° (la del cono y la interface de los dos cilindros) que además previene el juego axial.

La parte superior del acople lleva 2 zapatas deslizantes rígidas y un muelle trapezoidal de ajuste al canal. El material del acople es acero DIN 4122. La superficie inclinada a 15° de los cilindros está endurecida a 30 kg/mm<sup>2</sup> para reducir el desgaste.

### 2.3. Varillaje (figura 6)

La parte inferior del acople lleva un anillo fijado por 3 tornillos a 120°. A este anillo se hallan unidas 3 barras cilíndricas de acero (DIN 4550) por medio de 3 tornillos con cabeza tipo "Allen". El seguro de estos tornillos se verifica por aplastado de un labio fresado en la cara superior del anillo contra una muesca existente en la cabeza del tornillo.

El otro extremo de las barras va roscado en un anillo intermedio también de acero. Al mismo se hallan fijos 6 tubos con tapones en los extremos, por medio de tornillos "Allen".

Estos tubos en el otro extremo están roscados en los vástagos de 5 Barras Combustibles y del tubo estructural.

Los tubos que atraviesan el reflector son de Zry-4 y llevan dos orificios para igualar presiones interna-externa y no arrastran D<sub>2</sub>O.

### 2.4. Placa portante

Además de soportar las 36 barras combustibles debe poseer la menor pérdida de carga posible.

Sobre un diámetro exterior de 100 mm la placa portante lleva:

|    |             |   |           |
|----|-------------|---|-----------|
| 6  | agujeros de | Ø | 8 mm      |
| 12 | "           | " | Ø 12,5 mm |
| 6  | "           | " | Ø 6 mm    |
| 6  | "           | " | Ø 7 mm    |
| 12 | "           | " | Ø 9,5 mm  |

para permitir el pasaje de refrigerante. El material es Zircaloy 4 y lleva adosadas 3 zapatas fijas para su centrado en el canal.

## 2.5. Tubo portante y zapatas elásticas (ver figura 7)

A fin de ajustar el elemento combustible al canal e impedir la interacción mecánica entre ambos así como mejorar la rigidez del EC, que es muy baja por su esbeltez ( $l/d$  alta), se vincula el EC al canal por medio de zapatas elásticas.

Estas zapatas están constituidas por muelles de Inconel fijos a un tubo estructural que ocupa una posición de la corona exterior de barras. La fijación se verifica por medio de remaches "pop".

El EC apoya en el canal en dos zapatas fijas de cada separador y en 14 zapatas elásticas ubicadas en cada espacio interseparador. La ubicación del EC es entonces excéntrica, alcanzando hasta 0.7 mm de excentricidad.

La tercer zapata rígida que llevan los separadores sirve para mantener centrado el EC en los extrangulamientos existentes en el sistema de carga y transferencia de los elementos combustibles.

El diámetro del canal de refrigeración es  $108.2 \pm 0.22$  mm y el diámetro de la circunferencia que pasa sobre las zapatas fijas es 107.8-0.1 mm.

La condición de diseño del sistema tubo estructural-zapata elástica es tal que al final del tiempo de permanencia debe mantener una fuerza de ajuste que impida la separación o movimiento EC-canal.

## 2.6. Separadores (ver figura 8)

La finalidad de este componente es la de mantener la posición de las barras combustibles a lo largo del EC, permitiendo las dilataciones longitudinales diferenciales de barras combustibles, si las hubiere, así como establecer un vínculo que centre el EC en el canal.

Está diseñado como para soportar sollicitaciones estáticas y dinámicas provenientes de vibración, cambios de diámetro, dilataciones longitudinales y arqueado de las barras combustibles, así como la flexión del elemento combustible.

Constituyen además, junto a 9 barras combustibles, el esqueleto estructural del EC.

Por las características de la ubicación de las barras

combustibles en la sección transversal el separador lleva 5 tipos diferentes de celdas para alojarlas, a saber:

- 1 central
- 6 en la primer corona interna
- 12 en la segunda corona interna
- 17 en la corona externa
- 1 en la corona externa para el tubo portante

Se ha previsto en la malla del separador los correspondientes apoyos de los patines de las barras combustibles, como resaltos adecuados para satisfacer la geometría.

El espesor de las paredes de las celdas resulta del compromiso de tener la menor pérdida de carga y material absorbente neutrónico con la resistencia adecuada.

La fabricación se efectúa por electroerosión a partir de una rodaja de Zircaloy 4 que ha tenido previamente un laminado cruzado. El separador lleva 3 zapatas fijas, en su periferia, por "brazing" (soldadura de bajo punto de fisión). Estas zapatas son fabricadas por estampado de una chapa de zircaloy 4.

## 2.7. Barra combustible (ver fig. 9)

Está constituido esencialmente por una columna o apilamiento de pastillas de dióxido de uranio sinterizado, envainadas en un tubo de zircaloy con tapones soldados en sus extremos. Además lleva distribuidos a lo largo de la columna de pastillas 28 arandelas deformables para absorber la dilatación térmica de la misma en la primer salida en potencia, dos espacios, uno en cada extremo, para alojar gases de fisión, y algunos elementos para absorber dilatación térmica.

Las altas temperaturas que se establecen en el  $UO_2$  hacen que las dilataciones térmicas sean considerables. Por otra parte el salto térmico entre la pastilla y la pared interior de la vaina es importante por cuanto está lleno con gases nobles (He al comienzo y mezcla de He, Xe y Kr luego).

Estos hechos hacen necesario definir un espacio entre pastilla vaina adecuado como para tener la mínima deformación de la vaina por dilatación térmica del  $UO_2$  compatible con una menor temperatura central.

En este caso el espacio diametral (diámetro interno de vaina - diámetro de pastilla) varía entre 0.13 y 0.23 mm. ya que los diámetros correspondientes son  $10.80 \pm 0.04$  y  $10.62 \pm 0.01$  respectiva-

mente, lo cual asegura una deformación plástica efectiva de la vaina inferior a 1% durante todo el tiempo de permanencia y una temperatura central del  $\text{UO}_2$  inferior a  $2200^\circ\text{C}$ , para 100% de potencia. Durante el proceso de fisión se producen productos de fisión gaseosos que se liberan de las pastillas de  $\text{UO}_2$  por efecto térmico, principalmente.

Estos gases se incorporan a los espacios libres dentro de la vaina, aumentando la presión interior.

Por otra parte, y a fin de disminuir las presiones circunferenciales en la vaina por diferencia de presiones exterior (refrigerante) e interior se incorpora al fabricar la "barra combustible" una presión de 17 atm a PTN de He.

A fin de contener estos gases (de fabricación y de fisión) y no sobrepasar la presión exterior al final del tiempo de permanencia (criterio de diseño) se prevén 2 espacios en los extremos de la vaina (zona de menor temperatura) para alojarlos.

En el caso de las barras combustibles de la CNA, tienen un espacio superior de  $20\text{ cm}^3$  y otro inferior de  $8\text{ cm}^3$ .

Ambos espacios están protegidos con sendos tubos para prevenir el aplastamiento de la vaina, instantáneo o diferido, por efecto de la presión exterior.

El efecto de gradiente de temperatura radial hace necesario prever una concavidad en las caras planas de las pastillas de  $\text{UO}_2$ . De tal manera que la elongación de la columna de pastillas se minimiza, al ser transferido el punto de contacto entre pastillas a la zona de menor temperatura radial. Fig. a.

Teniendo en cuenta además que la dilatación de la columna de pastillas es mayor que la de la vaina es necesario prevenir un alargamiento excesivo de la vaina.

Para ello se han colocado arandelas aplastables repartidas entre la columna de pastillas de tal manera que absorban la dilatación diferencial mencionada.

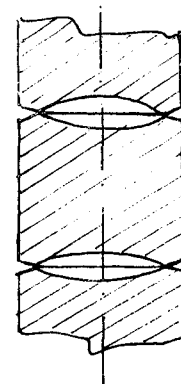


Fig.a. Diseño pastillas  $\text{UO}_2$ .

A fin de prevenir rotura de las pastillas de  $\text{UO}_2$  durante el transporte, se colocan elementos (pastillas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) que compensan las tolerancias longitudinales y permiten cerrar la "barra combustible" sin juego interno.

La longitud activa es de 5.300 mm de la cual aproximadamente 50 mm corresponden a las arandelas aplastables.

### 3. CONDICIONES PARA EL MANIPULEO DE LOS EC

De acuerdo a la descripción hecha surge como evidente que la esbeltez (relación longitud/diámetro) del EC es muy grande. Ello le da una baja resistencia a la flexión y al pandeo. Por ello debe prevenirse cualquier operación que implique pasar el EC de la posición horizontal a vertical sin un apoyo en toda su longitud.

Para el transporte o movimiento a distancias grandes debe colocarse el EC en un tubo que provea la resistencia estructural adecuada. En el caso de almacenamiento de EC en posición horizontal (o durante transporte) el mismo debe tener el tubo portante en la parte superior, es decir que el EC nunca debe quedar apoyado sobre la generatriz que coincide con el tubo portante que lleva las zapatas elásticas de ajuste al canal, a fin de prevenir su deformación.

El elemento combustible debe estar suspendido cuando no está soportado exteriormente.

Otra característica importante es que, debido a los problemas de corrosión, no debe manipularse el EC de tal manera que se introduzcan impurezas en la superficie de las barras combustibles. En todos los casos deben manipularse con guantes de tela o plástico, limpios.

Tabla 1 Cantidades y pesos de las piezas componentes del EC Atucha.

| DENOMINACION                         | Peso Unitario | Cantidad por barra C. |             |                |          | Cantidad por Elem. C. |          |        |          | Peso por barra C. |       |      |       | Peso por Elem. C. |         |      |         |
|--------------------------------------|---------------|-----------------------|-------------|----------------|----------|-----------------------|----------|--------|----------|-------------------|-------|------|-------|-------------------|---------|------|---------|
|                                      |               | reflech. super.       | Zona Activa | Papla inferior | Total    | R.S.                  | Z.A.     | R.I.   | Total    | R.S.              | Z.A.  | R.I. | Total | R.S.              | Z.A.    | R.I. | Total   |
| Pastillas $UO_2$                     | 11,2 g        | -                     | 438         | -              | 438      | -                     | 15.768   | -      | 15.768   | -                 | 4.900 | -    | 4.900 | -                 | 176.400 | -    | 176.400 |
| Arandelas aplastables de Zry-4       | 0,18g         | 3                     | 26          | 1              | 30       | 108                   | 936      | 36     | 1080     | 0,57              | 4,68  | 0,18 | 5,4   | 19,4              | 168,5   | 6,5  | 194,4   |
| Arandelas aplastables de Zry-4       | 0,33g         | 2                     | -           | 1              | 3        | 72                    | -        | 36     | 108      | 0,66              | -     | 0,33 | 0,99  | 23,7              | -       | 11,9 | 35,6    |
| Pastillas de $Al_2O_3$               | ~ 7g          | 1÷(2)                 | -           | -              | 1÷(2)    | 36                    | -        | -      | 36       | 7                 | -     | -    | 7     | 252               | -       | -    | 252     |
| Casquillo de Zry-4                   | 1,64g/cm      | 20 cm                 | -           | 8 cm           | 28 cm    | 720 cm                | -        | 288 cm | 1008 cm  | 32,80             | -     | 13,1 | 46    | 1100              | -       | 472  | 1653    |
| Vaina de Zry-4                       | 1,28 g/cm     | 22,7 cm               | 529,5 cm    | 6,6 cm         | 560,8 cm | 817 cm                | 19062 cm | 309 cm | 20188 cm | 29                | 677   | 11,0 | 717,8 | 1046              | 24399   | 396  | 25844   |
| Patines desliz. de Zry-4             | 0,475g        | -                     | 39          | 3              | 42       | -                     | 1404     | 108    | 1512     | -                 | 18,5  | 1,42 | 19,9  | -                 | 667     | 51   | 718     |
| Tapón superior de Zry-4              | 10g           | 1                     | -           | -              | 1        | 37                    | -        | -      | 37       | 10                | -     | -    | 10    | 370               | -       | -    | 370     |
| Tapón inferior de Zry-4              | 5,3g          | -                     | -           | 1              | 1        | -                     | -        | 36     | 36       | -                 | -     | 5,3  | 5,3   | -                 | -       | 191  | 191     |
| Tuercas aplast. de Zry-4             | 2,4 g         | -                     | -           | -              | -        | 31                    | -        | -      | 31       | -                 | -     | -    | -     | 74,4              | -       | -    | 74,4    |
| Tapón inferior varillaje Zry-4       | 3,7g          | -                     | -           | -              | -        | 6                     | -        | -      | 6        | -                 | -     | -    | -     | 22,2              | -       | -    | 22,2    |
| Tubos varillaje de Zry-4             | 1,28 g/cm     | -                     | -           | -              | -        | (6x34)<br>204 cm      | -        | -      | 204 cm   | -                 | -     | -    | -     | 261               | -       | -    | 261     |
| Tapón superior varillaje Zry-4       | 6g            | -                     | -           | -              | -        | 6                     | -        | -      | 6        | -                 | -     | -    | -     | 36                | -       | -    | 36      |
| Anillo intermedio varillaje de acero | 600 g         | -                     | -           | -              | -        | -                     | -        | -      | 1        | -                 | -     | -    | -     | -                 | -       | -    | 600     |

Tabla 1 (continuación)

[illegible]

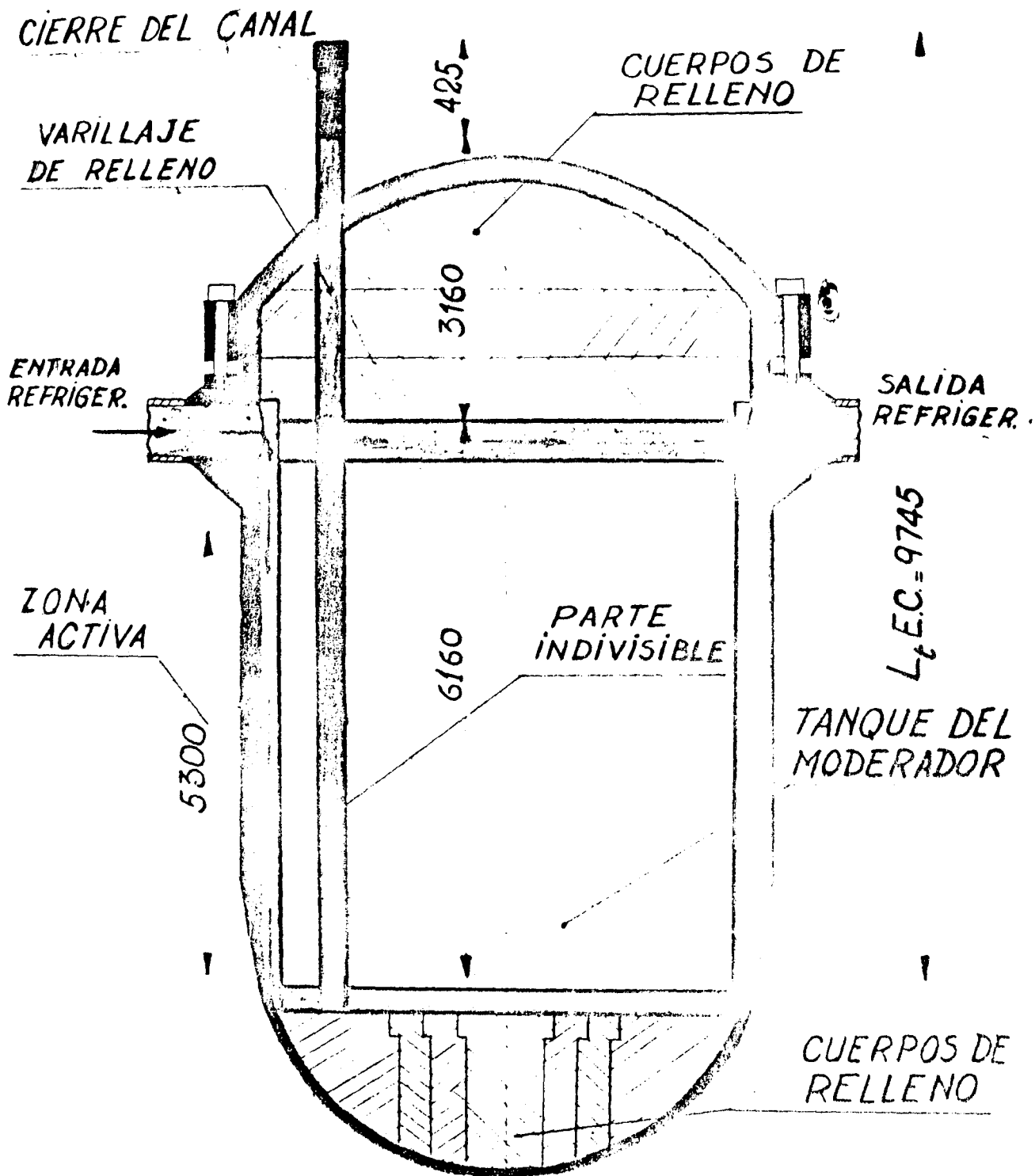


Fig. 1

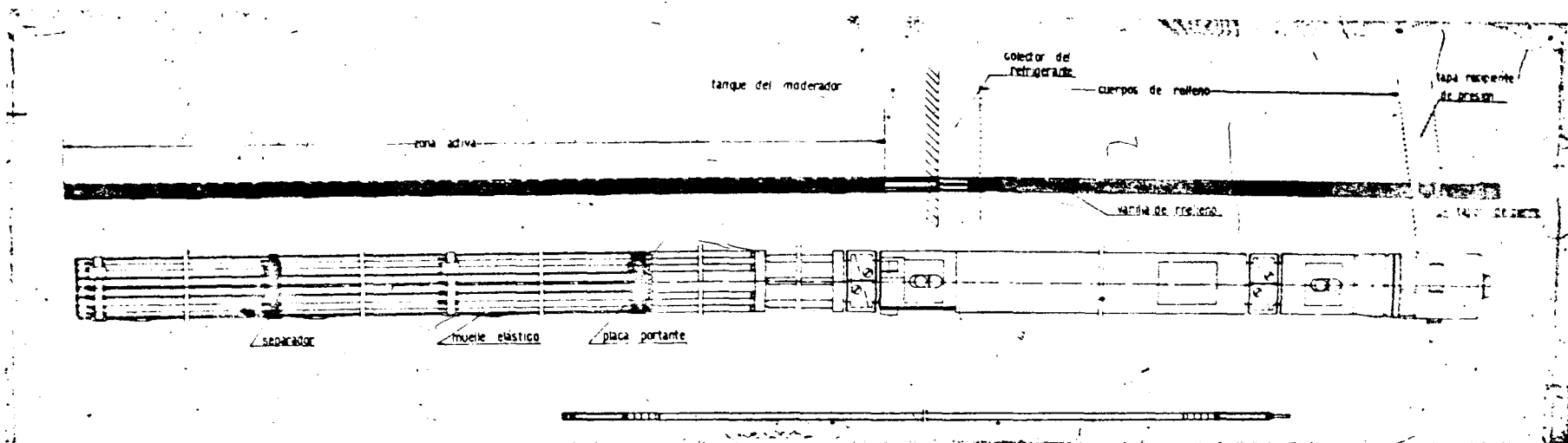


Fig. 2

*Schnitt G-H .*

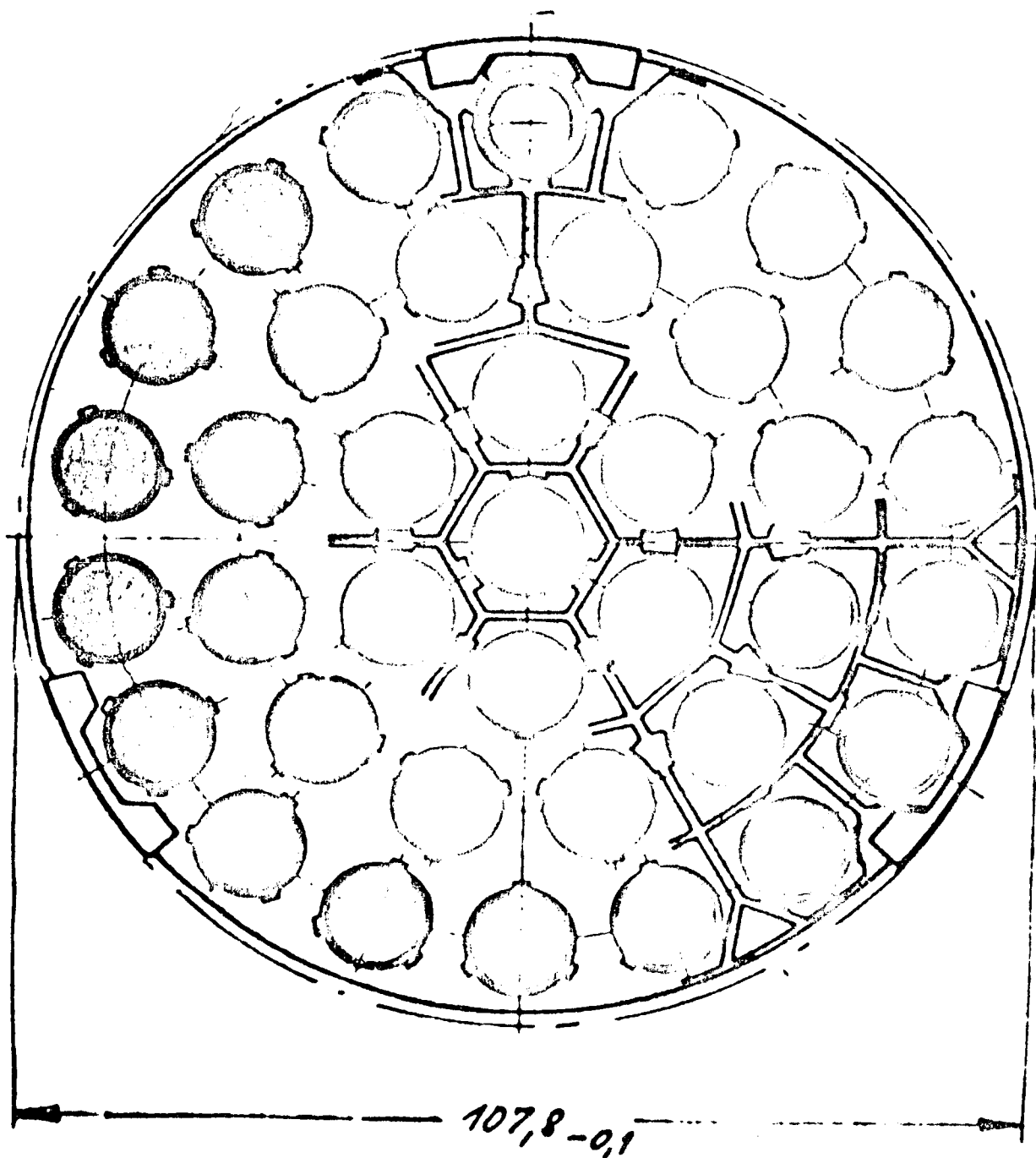


Fig. 3

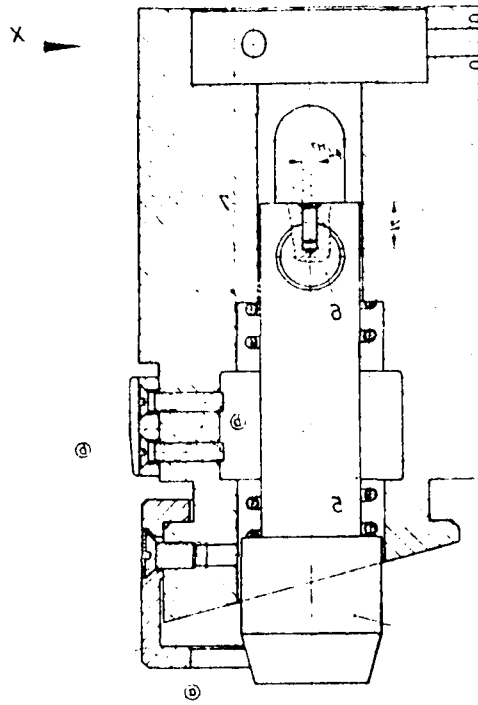


Fig. 4

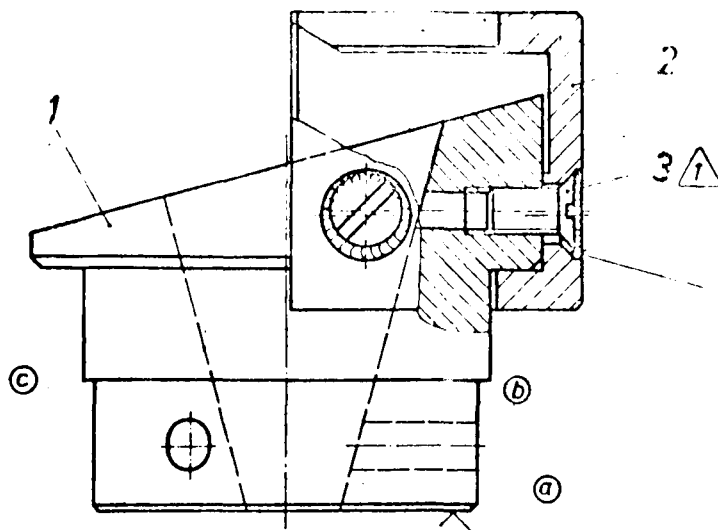


Fig. 5

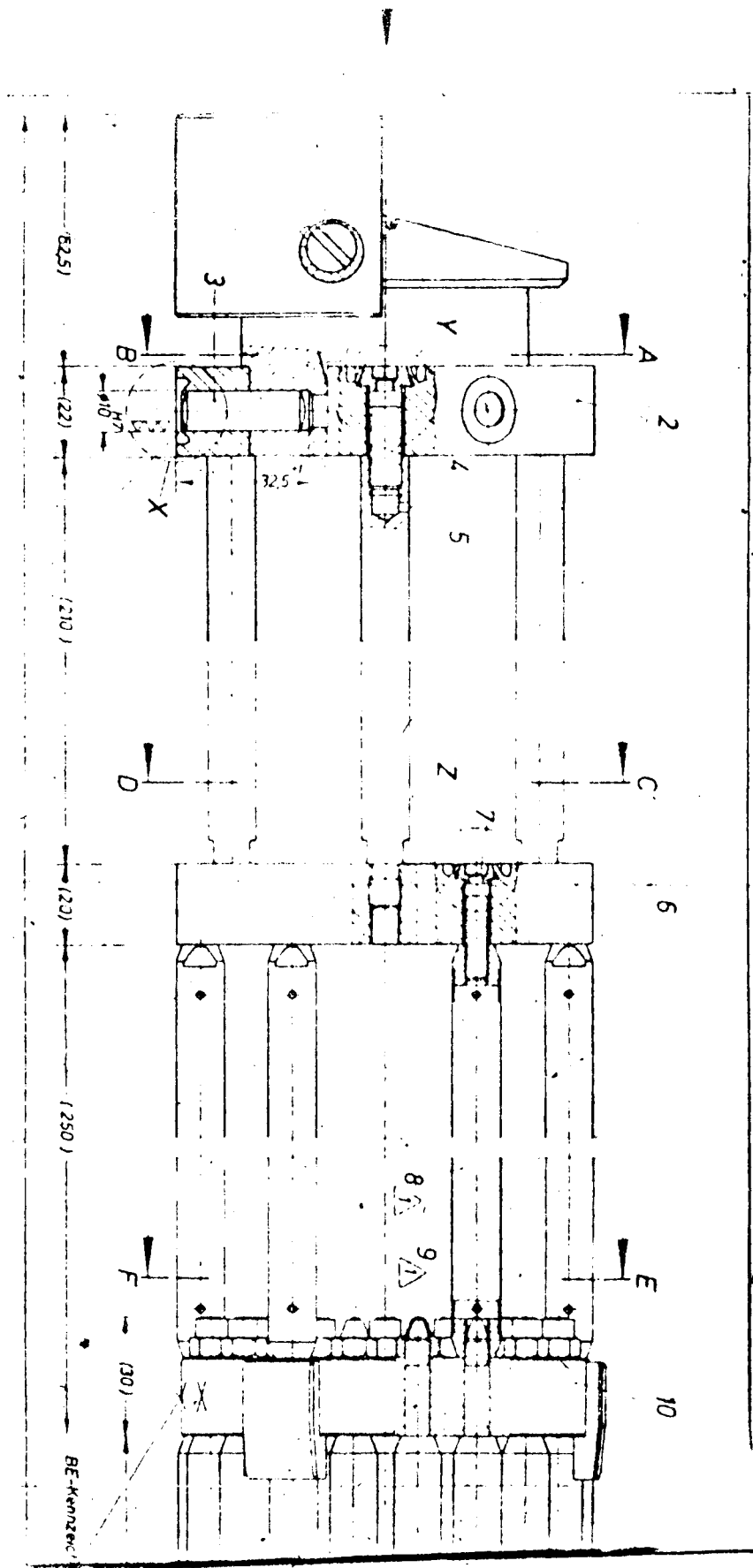


Fig. 6

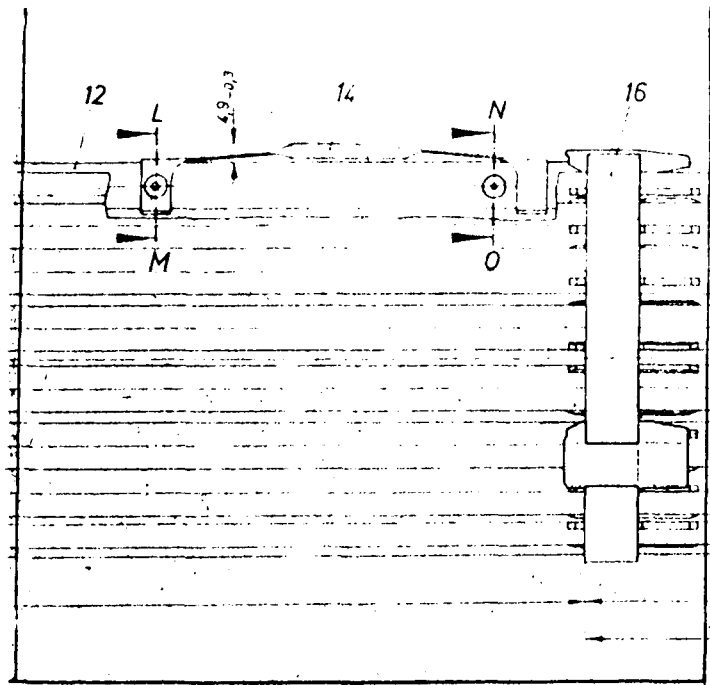


Fig. 7

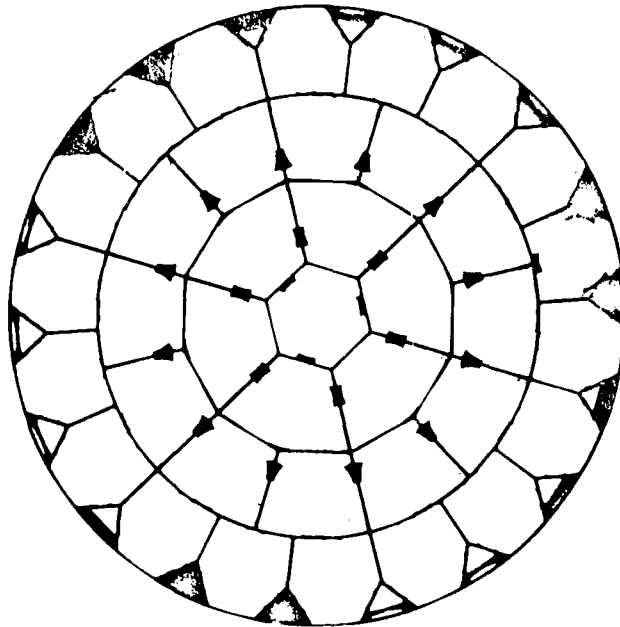


Fig. 8

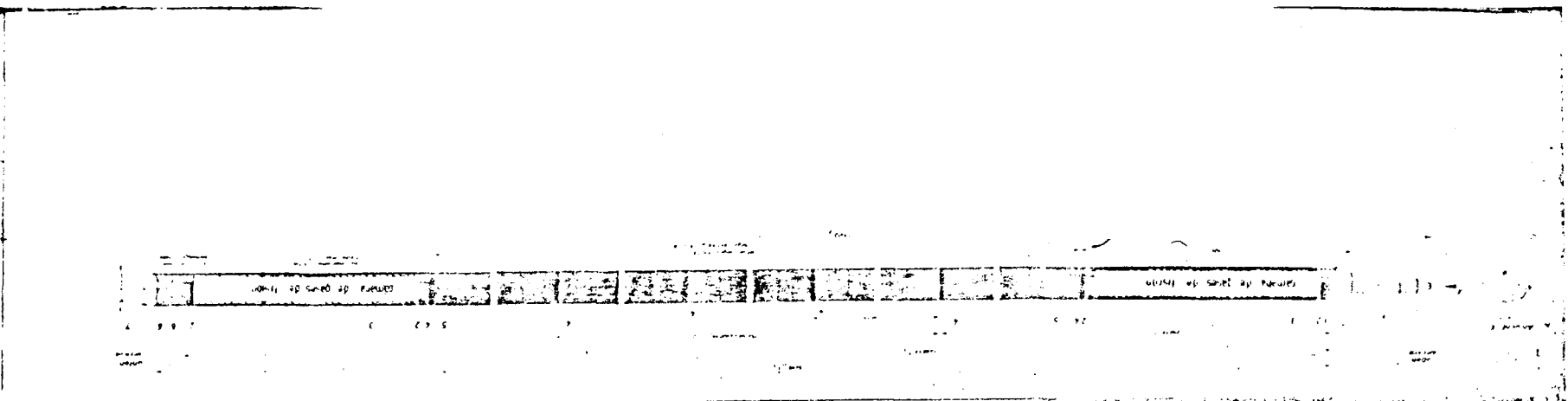


Fig. 9