

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1966

08.66.01

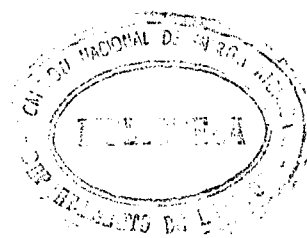
APARATOS DE MOTORES
LABORATORIO DE FLUIDODINAMICA

Setiembre de 1966

DISPOSITIVOS PARA EL ESTUDIO DE BURBUJE

Ingº Arnaldo Mlenonkrantz

CNEA- Re- 16



PUBLICACION DE DISTRIBUCION INTERNA EXCLUSIVA

I - INTRODUCCION -

Cuando se refrigera una superficie calefactora por medio de un líquido, puede alcanzarse una condición crítica de transferencia calórica. Como resultado de ella, para mantener un flujo de calor constante, la temperatura de la superficie cambia, en general súbitamente, desde valores muy cercanos al punto de ebullición del líquido, hasta alcanzar valores mucho más altos.

Esta deteriorización de las condiciones de transferencia calórica está vinculada en el caso que nos interesa, temperatura del líquido inferior a la de saturación, con la formación de una capa de vapor aislante entre la superficie y el líquido refrigerante.

El fenómeno, llamado Burnout, constituye una importante limitación tecnológica en el proyecto de reactores refrigerados por agua: las altas temperaturas que podrían alcanzarse implican la posibilidad de destrucción de los elementos combustibles con el peligro consiguiente de contaminación del circuito.

No se destaca que, en estos últimos años, muchos países han invertido gran cantidad de esfuerzos en la dilucidación de los problemas de Burnout. Aunque dicho fenómeno es conocido desde hace mucho tiempo, su mecanismo intrínseco no ha sido todavía suficientemente comprendido. Así, los criterios de diseño deben basarse en datos experimentales obtenidos en condiciones que reproduzcan tan exactamente como sea posible las que se producirán durante la operación.

Los intentos de correlacionar los resultados experimentales han conducido a expresiones a menudo contradictorias, que no cubren la gama completa de variación de los parámetros, y que es muy peligroso extrapolar. Faltan datos en zonas de interés tales como Bur-

nout en circulación forzada descendente con bajas velocidades, como asimismo sobre datos en condiciones de transitorio por inversión de caudal, situaciones ambas que corresponden a la detención de bombas en el reactor R.A.E.P.

Se consideró importante completar el análisis de seguridad de dicho reactor con una investigación de las condiciones en que podría alcanzarse el fenómeno de Burnout durante los accidentes previsibles.

Se inició así un programa de trabajo sobre fenómenos de Burnout en régimen estacionario y transitorio. Dicho programa, motivado por las necesidades específicas de la C.N.E.A. vinculadas con sus reactores nucleares refrigerados por agua, reviste a nuestro juicio un interés mucho más general, ya que muchas de las aplicaciones reactoriles de las correlaciones de Burnout son durante funcionamiento transitorios rápidos, mientras que virtualmente todos los datos experimentales han sido obtenidos en estado estacionario, existiendo la posibilidad que no sean directamente aplicables en aquel caso.

Cabe señalar que este estudio ha sido precedido por un análisis técnico de las condiciones de refrigeración en los elementos combustibles del R.A.E.P., tanto en estado estacionario como durante los funcionamientos transitorios consecutivos a la detención accidental de bombas, cuyos resultados han sido publicados en Ref.1

PROGRAMA DE TRABAJO

Todas las determinaciones previstas en esta etapa se realizarán a presiones ligeramente superiores a la atmosférica, en canales verticales, correspondiendo con las condiciones en el núcleo del reactor R.A.E.P.

a) - Determinación del flujo calórico de Burnout en circulación forzada descendente, funcionamiento estacionario.

Se analizará el efecto de las velocidades, entre 2 m/seg y pocos cm/seg, cubriendo así el rango decreciente de velocidades a partir de las condiciones de régimen del reactor. Se determinará así experimentalmente hasta qué valores se puede disminuir el caudal del reactor sin correr el peligro de Burnout, para distintos valores de la potencia del mismo.

Se analizará igualmente, en forma independiente, el efecto de la temperatura del líquido.

Es nuestro propósito estudiar distintas geometrías de secciones de ensayo, tubulares y rectangulares, variando el diámetro y la longitud de las mismas.

Esta parte del trabajo ha sido ya comenzada.

b) - Determinación del flujo calórico de Burnout en condiciones de transiente por inversión de caudal.

Las disposiciones especiales adoptadas para asegurar la refrigeración del reactor en caso de detención de bombas (compuerta que se abre automáticamente, permitiendo el establecimiento de la convección natural) nos han conducido a contemplar el régimen transitorio que sigue a esa detención. Se reproducirá dicha situación, buscando el flujo calórico capaz de producir Burnout para un conjunto dado de condiciones iniciales.

Se producirán sobre el circuito de ensayos los fenómenos siguientes: disminución del caudal por detención de la bomba impulsora, inversión del mismo debida al establecimiento de la convección natural, y variación de la potencia calefactora. -

Se analizará la variación durante el transiente de los parámetros físicos determinantes para el fenómeno, y se los correlacionará, con el fin de investigar la validez en este caso de las predicciones de Burnout basadas en resultados estacionarios.

c) - Mecanismo "microscópico" de la ebullición y el Burnout

El propósito de esta investigación, complementaria de las anteriormente citadas, será obtener una mayor comprensión de la dinámica del mecanismo de ebullición en los alrededores del flujo calórico crítico. Se analizará la formación de burbujas, las interacciones entre ellas, las condiciones en que darán lugar a coalescencias y la formación del film de vapor.

d) - Determinación de la fracción de vacío en el núcleo reactante

(relación entre el área ocupada por el vapor y el área total en un escurrimiento bifase). Esta determinación tiene gran importancia en el proyecto de reactores refrigerados por agua, tanto en lo que concierne a su funcionamiento térmico-hidráulico, como a los fenómenos nucleares, estrechamente interdependientes.

Nos proponemos estudiar las relaciones entre el volumen de vapor y el flujo térmico, el flujo calórico crítico y la pérdida de carga, especialmente en el campo de la ebullición local (subcooled boiling), vale decir, en el caso en que la temperatura del líquido es inferior a la de saturación, poniendo especial énfasis en los funcionamientos transientes.

f) - El laboratorio resolverá, en etapas posteriores, los distintos problemas técnicos planteados por los proyectos de reactores que encare la C.N.E.A. Con este fin se adecuarán convenientemente los circuitos experimentales.

ASISTENCIA TÉCNICA

Se obtuvo para esta investigación la asistencia técnica del I.I.A., consistente en equipos por valor de U\$S. 23.000,00, y el envío de un experto en el tema, Mr. W.R.GAMBILL, del Laboratorio de Oak Ridge, U.S.A., quien permaneció en ésta por el término de seis meses, asesorando en la puesta a punto de los métodos de medición, planificación y realización de las primeras experiencias.

Su colaboración y amplia experiencia representaron sin duda un factor de gran importancia en el cumplimiento de esta etapa.

DESCRIPCION DEL CIRCUITO

Los circuitos experimentales fueron descritos en Ref.2 y su instalación ha sido ya completada. Una descripción general de ellos está incluida en las Figuras 1 y 2.

Una mejora en el diseño del circuito de ensayos estacionario es la introducción del precalentador, del tipo calefactor eléctrico blindado, de 12 KW trifásico, cuya potencia se ajustará con un Variac, y que permitirá variar la temperatura de entrada del líquido a la sección de ensayos.

El circuito transiente permite funcionar tanto en circulación forzada descendente como en convección natural, y por medio de válvulas adecuadas permite reproducir el funcionamiento transitorio correspondiente al pasaje de una a otra.

Para simular la generación de calor por fisión, se usa corriente continua que calienta por efecto Joule las secciones de ensayo. Como fuente de potencia se cuenta con un equipo transformador-rectificador de las siguientes características:

Alimentación: C.A. 3 x 380 Volts

Salida (valores máximos): 20 Volts c.c.
2000 Amperes

Ondulación: 4 %

La potencia en la carga se regula por medio de variac entre 0 y 100% del valor máximo.

El calor es evacuado a través de los intercambiadores de calor a un secundario que funciona en circuito cerrado, e incluye una torre de enfriamiento.

Al producirse el fenómeno de Burnout, la señal del detector a través de un disparo de seguridad, actúa un contactor automático

que interrumpe la corriente calefactora antes de que se alcance la destrucción de la sección de ensayos.

Se usa para ello en esta primera etapa el mismo contactor AEG del pupitre de comando, ubicado en el circuito primario del transformador-rectificador. Se recibirá en breve con análoga finalidad un interruptor automático de alta velocidad de corte provisto por el O. I.T.A. en el marco del programa de Asistencia Técnica, que ha sido fabricado por la firma FUJI ELECTRIC Co., del Japón.

El tiempo total de corte de este dispositivo a partir de la llegada de la señal de comando, es del orden de 15 milisegundos, y está dimensionado para una corriente máxima de 4000 Amperes. Podrá por lo tanto ubicarse directamente en serie con la sección de ensayos, resultando así un menor tiempo de respuesta del sistema, y permitirá incluso efectuar ensayos en los que la corriente calefactora alcance valores de intensidad muy superiores a los usados en esta primera etapa, pudiéndose adecuar así a estudios de Burnout en reactores de mayor potencia.

El instrumental de comando de los circuitos experimentales ha sido concentrado en una consola de control (Fig.4). Los distintos parámetros medidos son registrados en un registrador oscilográfico Offner de 4 canales (otros 4 canales suplementarios han sido adquiridos) y un registrador potenciométrico electrónico Westronics.

Las secciones de ensayo usadas en esta primera etapa (Fig. 3) son tubulares, de acero inoxidable, (item 41 en la figura), aisladas térmicamente de la atmósfera por medio de amianto.

Electrodos de cobre soldados con plata permiten la llegada de la corriente calefactora (item 18). Conexiones eléctricas flexibles, y un fuelle de goma (item 26) intercalado en el circuito, per

miten la dilatación térmica de la sección de ensayos.

Se están desarrollando secciones de ensayos rectangulares que reproducirán más exactamente la geometría de los elementos combustibles del reactor R.A.E.P., y que ya han sido descritos en Ref. 2.

.....

MÉTODOS DE MEDICIÓN

La selección de los dispositivos destinados a medir los parámetros físicos de interés se hizo poniendo particular atención en sus características de respuesta dinámica.

a) - Detector de Burnout - Tres termocuplas ubicadas externamente a la sección de ensayos, en la zona donde se espera que el fenómeno de Burnout se produzca, en buen contacto térmico pero aisladas eléctricamente de la pared calefactora, y conectadas entre sí en serie, proveen la señal de comando del interruptor automático. El umbral de disparo se ajusta de modo tal que no se alcancen temperaturas elevadas de pared, aún cuando una sola de las termocuplas esté en la zona donde se produce el fenómeno.

La fig. 5 muestra un registro de temperatura de pared en el momento del Burnout obtenido durante las experiencias. Se observa la elevación brusca de temperatura característica del fenómeno. La disminución rápida inmediatamente posterior es debida a la actuación del interruptor automático que cortó la corriente calefactora.

En los casos en que por razones de geometría se haga imposible la ubicación adecuada de una termocupla, se usará como alternativa un sistema de detección de Burnout debido a W.R. GAMBILL (Ref. 3), basado en el uso de detectores de estado sólido de tipo fotocpuerta (Light Activated Switch GE LCU).

Estos dispositivos cierran el circuito de disparo cuando la energía radiante que incide sobre ellos, emitida por la sección de ensayos, excede de cierto valor.

Los elementos necesarios para este último sistema de detección han sido solicitados al O.I.E.A. como adicional al pedido de Asistencia Técnica, habiéndose obtenido el acuerdo correspondiente.

- b) - Medición de Caudal - Se usan caudalímetros a turbina Pottermeter, dispositivo que genera una señal de corriente alterna cuya frecuencia es directamente proporcional al caudal de líquido. Esta señal se envía a un convertidor de frecuencia a analógico, que la transforma en una indicación continua proporcional al caudal. El tiempo de respuesta de este caudalímetro es de 2 a 5 milisegundos para una variación abrupta de caudal (escalón). El rango de los Pottermeter disponibles permite medir desde 0,04 gpm hasta 50 gpm.

Dado que los caudalímetros a turbinas introducen una caída de presión no despreciable, en algunos estudios transientes en que se desea disminuir al mínimo las pérdidas de carga externas a la sección de ensayos, se usará un dispositivo compuesto de tubo Pitot y transductor de presión diferencial.

Se ha recibido con este fin del O.I.E.A., un transductor PACE apto para medir diferencias de presión tan bajas como 0,00005 psid, cuya respuesta en frecuencia es de 0 a 150 cps. Para caudales mayores se podrán usar igualmente con este dispositivo los transductores de presión incluidos en el punto siguiente.

- c) - Medición de presión diferencial - Para medir la caída de presión en la sección de ensayos durante los funcionamientos transientes se usarán los transductores de presión diferencial PACE, provistos por el O.I.E.A., cuya respuesta en frecuencia es de 0 a 150 cps y cuyos rangos son los siguientes: ± 0.1 psid; ± 0.5 psid; ± 1 psid

± 5 psid y ± 25 psid.

En dichos transductores, del tipo a reluctancia variable, la presión es detectada por deflexión de un diafragma de acero inoxidable ubicado entre dos bobinas, incluidas en cada una de las cámaras del cuerpo del transductor. El movimiento del diafragma resulta en un cambio de la relación de inductancias entre las dos bobinas, y el efecto es usado en un circuito puente para producir un voltaje de salida proporcional a la presión. El puente es excitado por una tensión de frecuencia igual a 5000 cps, y la señal de desequilibrio del mismo es amplificada, demodulada y filtrada, para obtener la señal de salida continua que se envía al registrador.

d) - Medición de Temperaturas - Las temperaturas medidas son las siguientes:

- I - Temperatura del agua a la entrada de la sección de ensayos.
- II - Temperatura del agua a la salida de la sección de ensayos.
- III - Temperatura de la superficie exterior de la pared calefactora.

Todas estas mediciones se hacen con termocuplas de Cobre-Constantán Bristol Armox, y se usan cables de compensación para conectarlas a los registradores. Las termocuplas que miden la temperatura de pared están aisladas eléctricamente por una delgada capa de mica ($\approx 0,03$ mm.).

Una cámara mezcladora ubicada a la salida de la sección de ensayos, y antes de la termocupla correspondiente, asegura una lectura correcta de la temperatura de salida del agua.

En el circuito de ensayos transientes, con el objeto de reducir al mínimo los retardos de medición de las termocuplas de

pared en los casos en que ello se juzgue importante, no se aislarán éstas eléctricamente, sino que se soldarán directamente sobre la pared calefactora. Se ha construido con este fin un dispositivo de soldadura por descarga de capacitores, basado en el trabajo de H. Specht. Se tendrá en cuenta posteriormente, como corrección, el error introducido en la lectura por el voltaje de pared.

- c) - Medición de la Potencia Calefactora - Se efectúa por medición separada de la caída de voltaje y corriente que circula por la sección de ensayos. Aunque pequeño, ya que la pared calefactora está envuelta con hilo de amianto, se tiene en cuenta el error introducido por la pérdida de calor a la atmósfera.

La corriente calefactora se mide por la caída de tensión en un shunt conectado en serie con el circuito principal.

Los balances térmicos efectuados, comparando la potencia eléctrica disipada con el calor absorbido por el refrigerante, dan un error promedio inferior al 4%.

- d) - Medición de la fracción de vacío - La técnica adoptada para el desarrollo del detector dinámico de la fracción de vacío, es la medición de la atenuación de un haz de rayos X que atraviesan la sección de ensayos.

Este sistema permite por una parte, gracias a la intensidad de la fuente, obtener resultados satisfactorios en mediciones efectuadas en tiempos muy breves (requisito esencial para el estudio de fenómenos dinámicos), y por otra parte, trabajando con rayos X de energía adecuada, analizar la ebullición local.

Se dispone con este fin de un aparato de rayos X Müller NG

150, suministrado por el O.I.E.A., de las características siguientes:

Máximo voltaje de operación: 150 KVolts

Potencia : 3 KW

Corriente : 20 mA

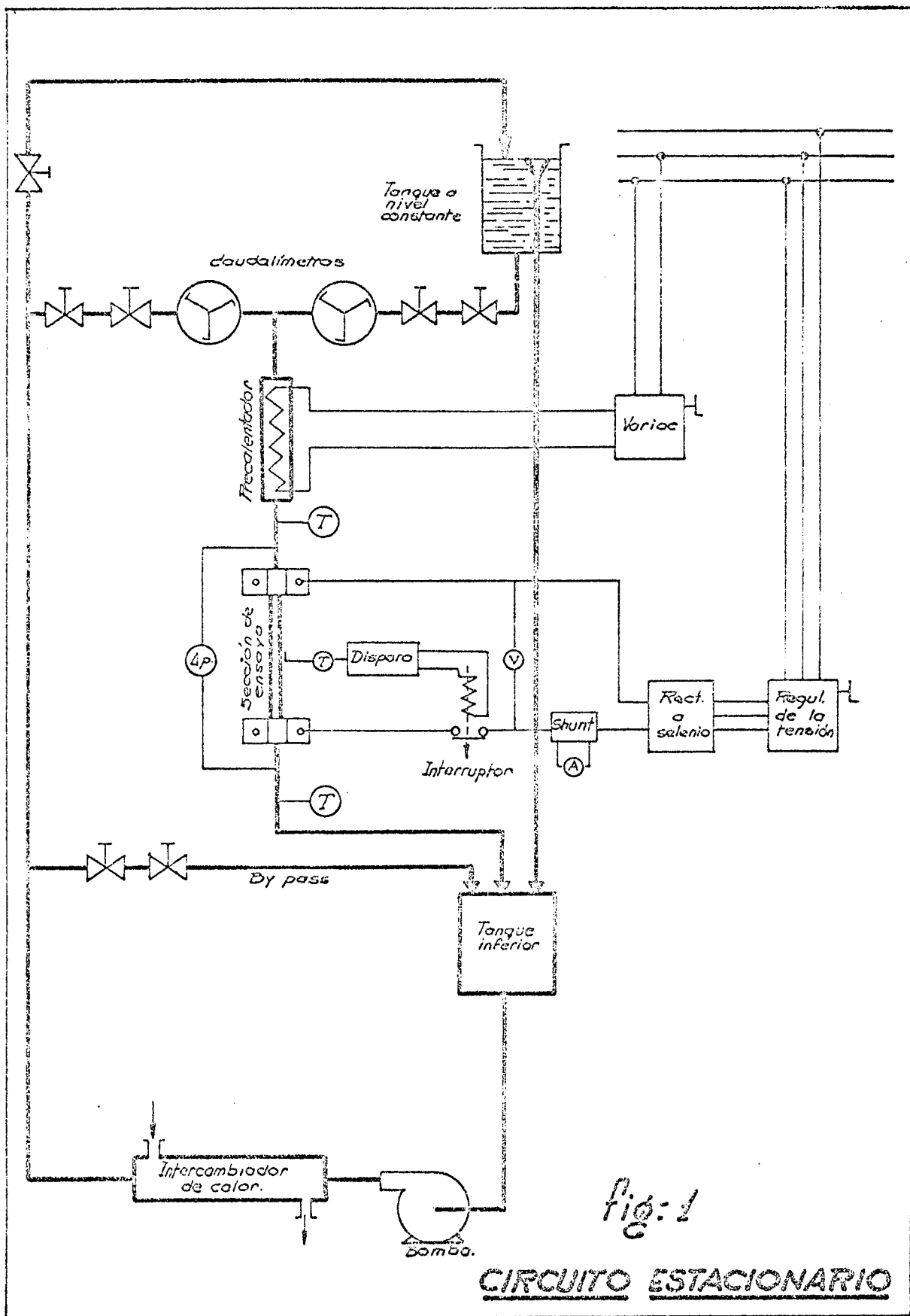
Tubo de rayos X con anticátodo de tungsteno

- g) - Análisis de los Mecanismos de Ebullición - Se dispone a este fin de una cámara filmadora de alta velocidad WOLLENSAK FASTAX, suministrada por el O.I.E.A., capaz de tomar hasta 9000 imágenes por segundo, que se usará en conjunción con secciones de ensayo adecuadas para la visualización del fenómeno.

REFERENCES

- 1 - "Análisis de transitorios térmicos en un reactor nuclear"
C.N.E.A. -Informe Nº 134- A. BLUMENKRANTZ y R. TURJANSKI
- 2 - "Circuito experimental destinado al estudio de Burnout en régimen transitorio" - C.N.E.A. -Departamento de Reactores-
R. TURJANSKI y A. BLUMENKRANTZ
- 3 - "Light Activated Switch Burnout Detection System" - ORNL -
TM - 1032 - W.R.GAMBILL.-

1000 900 800 700 600 500 400 300 200 100 0



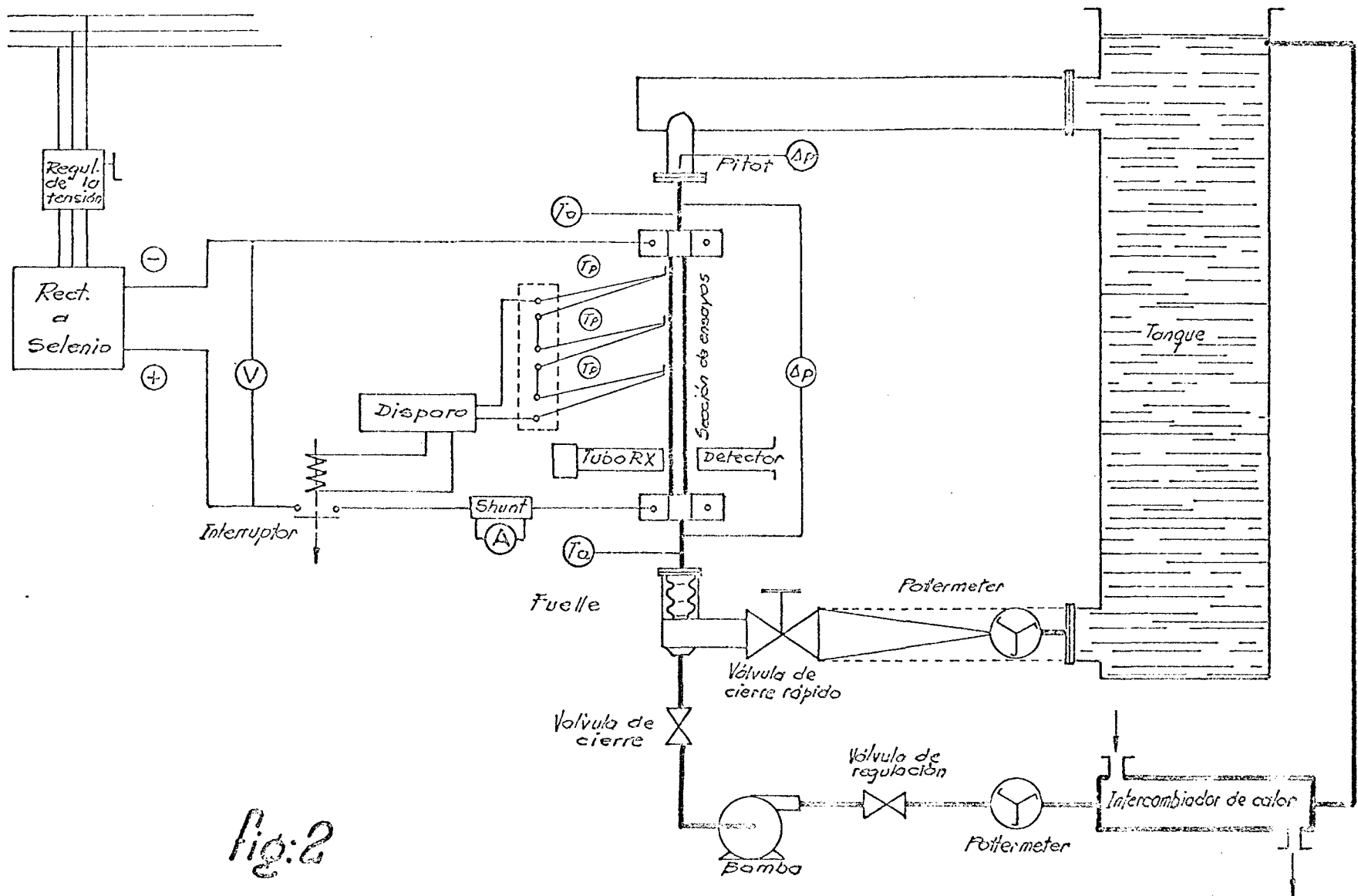
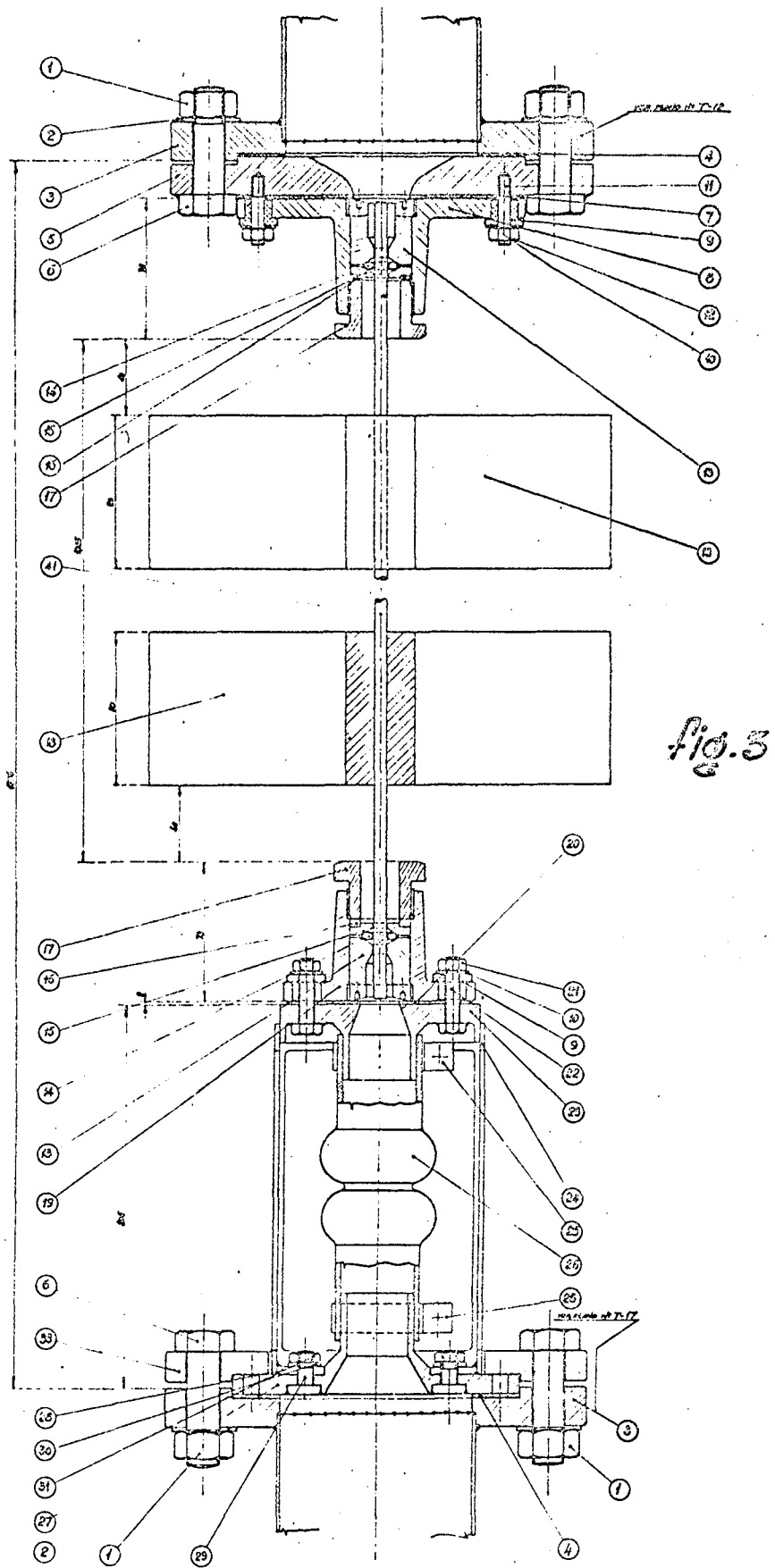
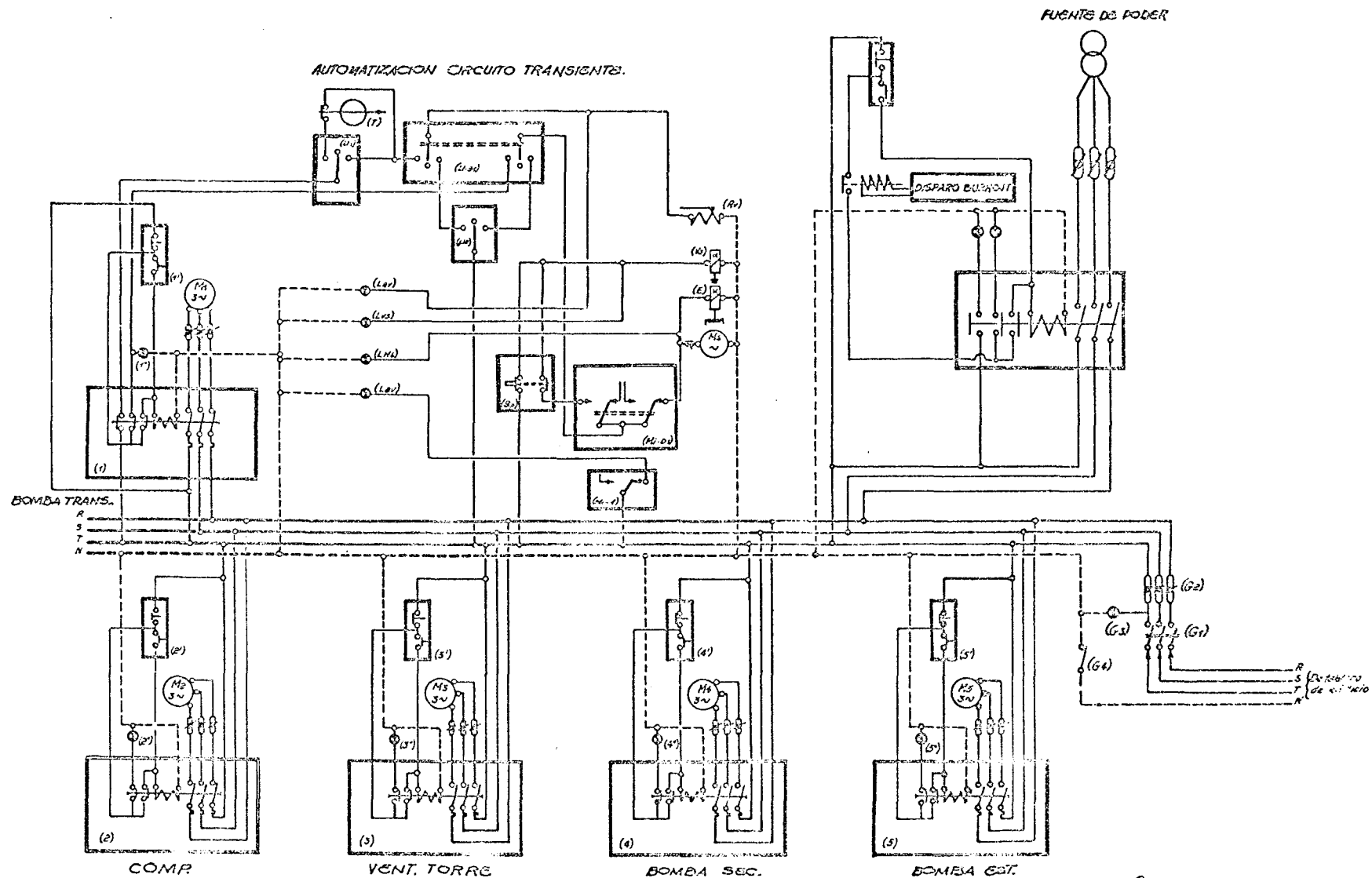


fig:2

CIRCUITO DE ESTUDIOS TRANSIENTES





CIRCUITO ELECTRICO - MESA DE CONTROL

Fig. 4.

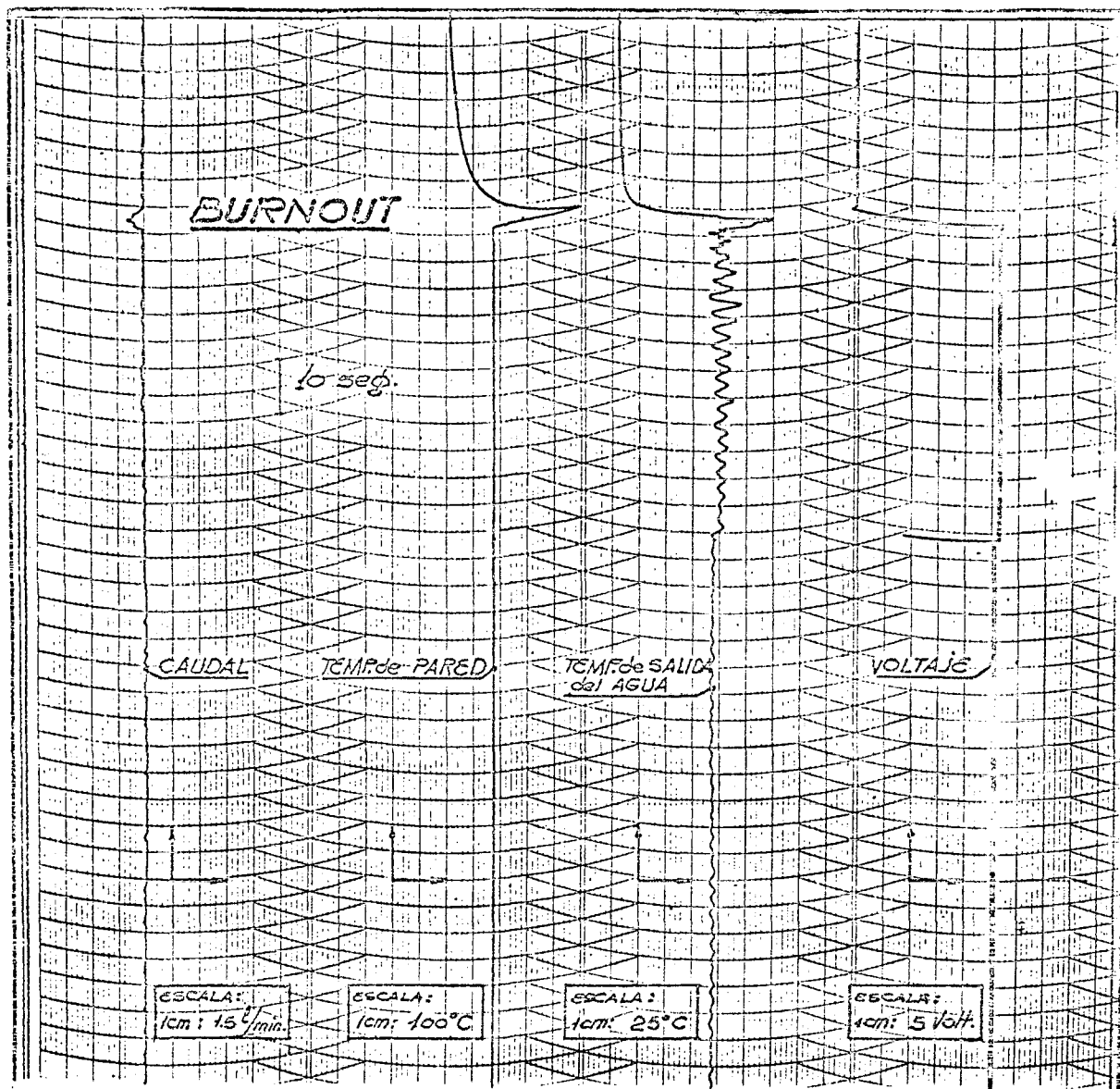


FIGURA 5

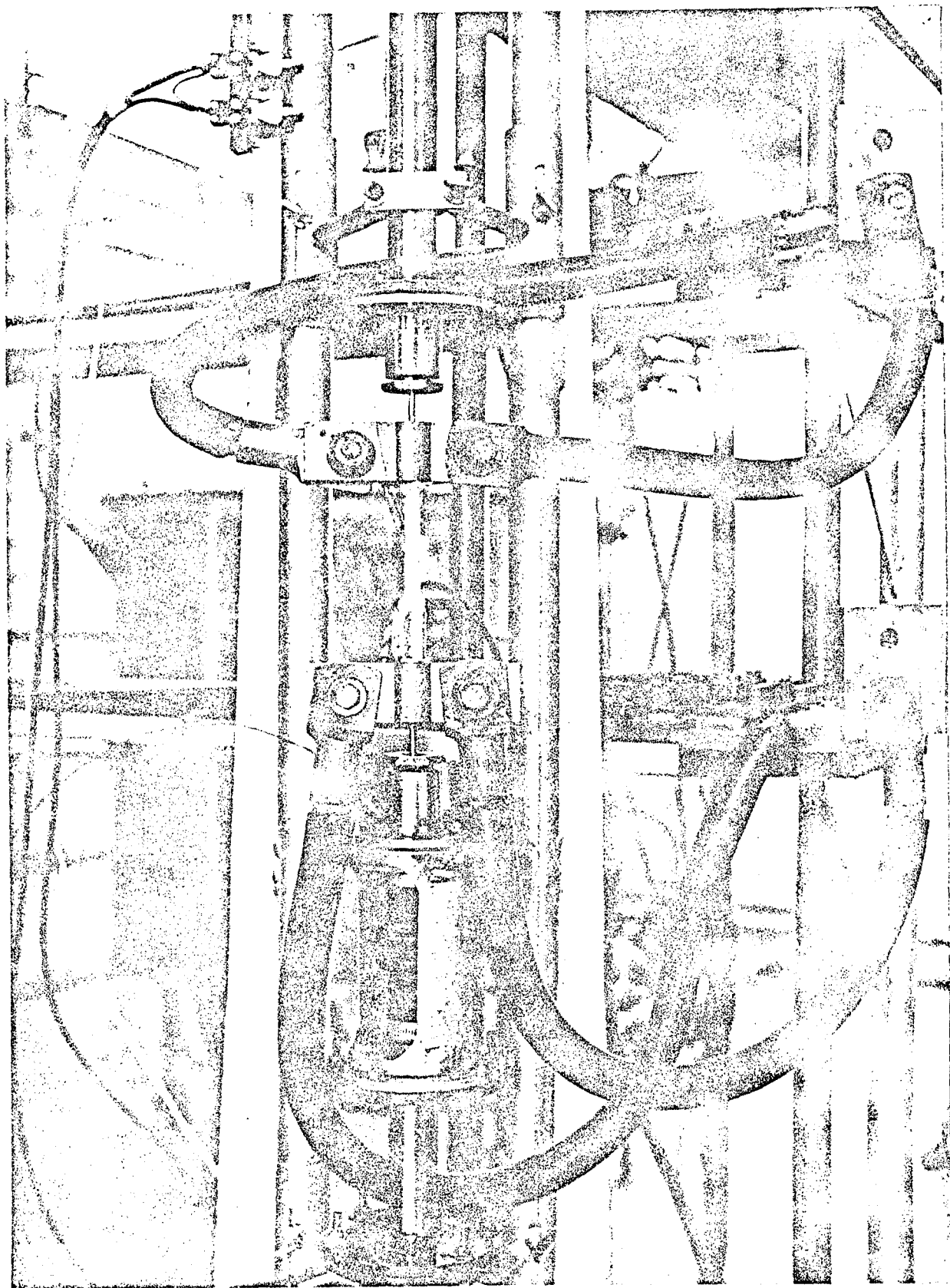


fig:6 VISTA DE LA SECCION DE ENSAYOS

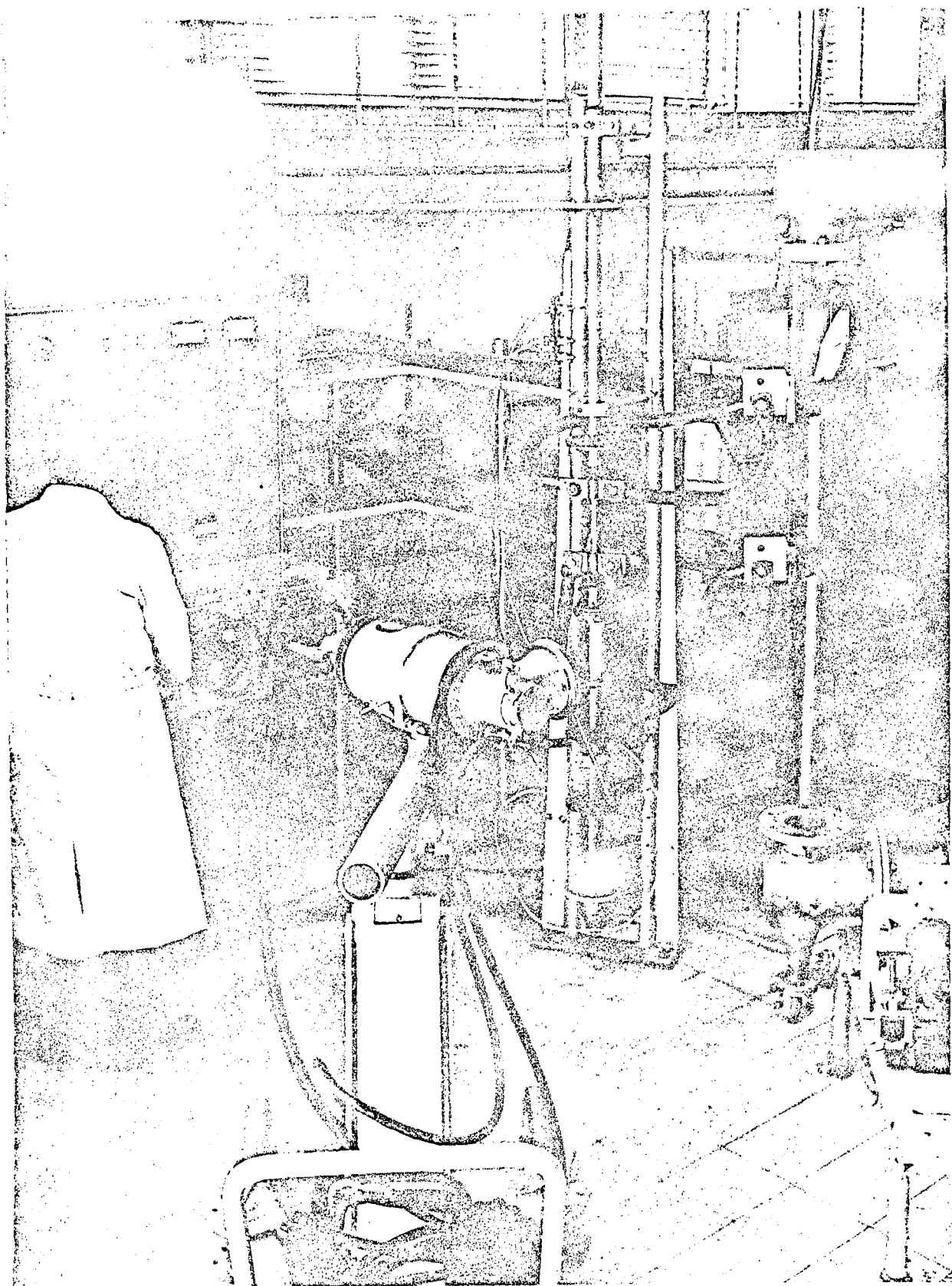


Fig:7 VISTA DE LA FUENTE DE PODER Y
PARTE DEL INSTRUMENTAL



fig:8

VISTA DEL INSTRUMENTAL DE CONTROL
Y REGISTRO