

ENSAYO ULTRASONICO EN VAINAS DE ZIRCALOY-4

Ing. Ricardo J. RODRIGUEZ

Proyecto P.P.F.E.C.N

Gerencia de Desarrollo

C.N.E.A.

1. Resumen
2. Introducción
3. Técnica de ensayo
4. Equipo de ensayo - Descripción
5. Cabezales de ensayo - Criterios para su elección
6. Tubo de falla patrón
7. Procedimiento de ensayo - Parámetro de trabajo
8. Confiabilidad de los resultados - Experiencias.
9. Conclusiones
10. Bibliografía.

1. Resumen:

el presente trabajo se desarrolla en base al ensayo por ultrasonido que actualmente se realiza en el Proyecto Planta Piloto Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares, línea Atucha en la CNEA.

Con este ensayo se realiza la calificación de vainas de Zry-4, que posteriormente serán utilizadas en la fabricación de los Elementos Combustibles para la Central Nuclear Atucha.

Este trabajo abarca un análisis de las técnicas y normas utilizadas, descripción general del funcionamiento del equipo, tubo de fallas de referencia, cabezales de ensayo utilizados y parámetros de trabajo.

Por último, se realiza en base a una evaluación de la experiencia acumulada hasta el presente un análisis sobre la confiabilidad de los resultados y criterios a tener en cuenta para la determinación de los parámetros de trabajo.

2. Introducción:

el empleo de las vainas de Zry-4 en el terreno de la tecnología nuclear, exige en las mismas un alto grado de confiabilidad, lo cual hace necesario un control integral antes de su utilización, con el fin de detectar fallas de discontinuidad en el material (poros, fisuras, solapados, inclusiones, etc.), como así también controlar las posibles variaciones dimensionales (espesor, diámetro externo e interno).

Las vainas de Zry-4 utilizadas en la fabricación de los Elementos Combustibles de la Central Nuclear Atucha, requieren según Norma Siemens RE-L 473, un control ultrasónico del 100 %.

Si bien la estadística sería aplicable, ya que cada lote de vainas procede del mismo lingote y de un idéntico proceso de fabricación, los trastornos que ocasionaría una vaina fallada en servicio, comparado con el tiempo que se insueme en el control de la misma (2-3 min.), justifican el control total del lote.

3. Técnica de ensayo:

el diámetro exterior del tubo que se examina es de 11.90 mm, con un espesor de pared mínimo de 0.51 mm, lo cual obliga a usar como método de ensayo la técnica de inmersión.

En lo que hace a fisuras, se examinan éstas en el rango de 0,03 - 0,050 mm de profundidad, lo que requiere un ajuste muy exacto de los cabezales ultrasónicos con respecto al tubo.

En la Figura N°1, podemos ver cuál es la disposición que se adopta entre palpador (del tipo emisor - receptor) y tubo, para detectar fallas longitudinales y transversales respectivamente.

El medio de acople utilizado entre palpador y tubo es agua desmineralizada.

Teniendo en cuenta, que de la temperatura del medio va a depender la velocidad de propagación del haz ultrasónico, se cuenta en la pileta de ensayos con un cabezal de referencia, que compensa las posibles variaciones de este parámetro.

4. Equipo de ensayo - Descripción:

el equipo que se utiliza pertenece a la firma NUKEM, y puede verse en la Figura N°2.

Para dar una descripción rápida del equipo, podemos separar en el mismo tres partes esenciales.

- 4.1. Pileta de ensayos
- 4.2. Componentes electrónicos
- 4.3. Componentes auxiliares

4.1. Pileta de ensayos:

En la Figura N°3, se puede observar una vista superior de la pileta de ensayos.

En ésta se pueden separar claramente dos zonas; la derecha es la pileta de análisis de fisuras (longitudinales y/o transversales) y en la izquierda, se examinan las dimensiones del tubo.

En la zona de fisuras existen cuatro dispositivos que en forma independiente permiten colocar los correctos posicionamientos de los cabezales de ensayo (dos para fallas longitudinales y dos para fallas transversales).

En la Figura N°4 se pueden apreciar los grados de libertad que se pueden obtener en los palpadores por medio de guías accionadas por tornillos de paso milimétrico.

En la zona izquierda se examinan las dimensiones del tubo con los palpadores puntualmente focalizados, enfrentados entre sí.

4.2. Componentes electrónicos:

Todos estos componentes se encuentran distribuidos en la consola que se muestra en la Figura N°5.

En la parte derecha de la misma, tenemos el control para la calibración de los cabezales de análisis de fisuras.

En la parte media de la consola se encuentran los módulos que se utilizan para la calibración de la parte dimensional con salida digital de los valores medidos.

Y por último, en la parte izquierda de la consola, se encuentra el registrador multicanal y el indicador de fallas. Este último nos permite, en el caso de detectarse una falla en el tubo, marcar la zona fallada con una aproximación de ± 1 cm .

4.3. Componentes auxiliares:

Dentro de éstos, agrupamos a todas aquellas partes del equipo que ayudan a la automatización del sistema de control, y son:

4.3.1. Sistema de impulsión:

Para controlar el paso de la helicoides de exploración ultrasónica, el equipo viene equipado con un sistema de impulsión, como el que se muestra en la figura N°6 y un control analógico de avance y r.p.m. del tubo, regulable por medio de pulsadores, como muestra la figura N°7.

De acuerdo a la relación entre el avance y la cantidad de r.p.m., se obtiene una mayor o menor frecuencia de exploración en un punto de la superficie de la vaina.

4.3.2. Sistema de agua:

Lo conforma un depósito de agua desmineralizada y una bomba , cuya función es hacer circular el agua entre la pileta de ensayos y el depósito, filtrando, a su vez, el líquido de acople de cualquier impureza.

4.3.3. Guías:

Las vainas a examinar se deslizan sobre guías en forma de "V" con apoyo sobre cepillos, en la parte externa del equipo (Fig.N°8) y entre boquillas de teflon y O'Rings de goma en la parte de la pileta de ensayos.

5. Cabezales de ensayo:

la calidad de los cabezales influye decisivamente sobre la posibilidad de detección de fallas, la sensibilidad y seguridad de los ensayos.

Dentro de los factores a analizar para seleccionar el tipo de palpador a utilizar, se tienen: las características del haz emitido, las características eléctricas y las mecánicas.

En lo que hace al haz emitido, es necesario conocer la distribución axial de la presión acústica en función de la distancia, la longitud del campo cercano, el punto de partida del haz, las características de la zona focal, el ancho focal, etc.

De las características eléctricas, es necesario conocer la frecuencia de trabajo del transductor, el espectro de frecuencia, la sensibilidad, el nivel de ruido, la impedancia acústica, etc.

En cuanto a las características mecánicas que se deben tener en cuenta, se encuentran las características propias del material piezoeléctrico, su correcto metalizado, la correcta soldadura de los conectores, el tipo de conector, el tipo y la hermeticidad de la cápsula, el material amortiguante, etc.

La frecuencia de trabajo está condicionada por el espesor en el cual nosotros vamos a controlar la presencia de una fisura.

Una frecuencia muy alta para el espesor de ensayo nos determinaría heterogeneidades microestructurales que enmascararían el resultado. En cambio, con una frecuencia muy inferior a lo razonable, se pierde poder de resolución.

En nuestro equipo de ensayo, se utilizan palpadores focalizados, los cuales aseguran la mayor sensibilidad y poder de resolución.

El material piezoeléctrico es de sulfato de litio y el sistema de enfoque es puntual (para el control de dimensiones) y lineal (para el control de fisura).

Cada palpador viene acompañado por su diagrama focal. Podemos ver en la Figura N°9 y N°10, los diagramas para un palpador puntualmente focalizado y uno linealmente focalizado, respectivamente.

Los palpadores utilizados en nuestro equipo proceden de la firma NUKEM y son del tipo 15SW13 para medición de dimensiones y del tipo SPT13LF para detección de fisuras.

Todos los cabezales de ensayo del equipo trabajan sin sincronizados a la misma frecuencia (5 a 6 MHz).

6. Tubo de falla patrón:

para la calibración del equipo de ensayos se utiliza un tubo similar al que se va a analizar, pero con fallas artificiales de dimensiones conocidas.

Este tubo de referencia está compuesto por varios trozos ensamblados entre sí, cada uno con una falla o dimensión conocida.

La medición del equipo está basada en comparar porcentualmente una falla o dimensión de tubo de referencia, con una falla o dimensión natural de la vaina que se examina.

La forma y dimensiones de las fisuras utilizadas como referencia pueden verse en la Figura N°11.

Debido a la pequeñez de los defectos que se desean realizar, la obtención de los mismos por medios mecánicos es poco fiable.

La técnica empleada para producir estas microfisuras, y que parece ser la más confiable, es la técnica de la electroerosión.

No sólo se tiene con esta técnica una mejor regulación de la profundidad de la falla a obtener, sino que también se obtienen fallas libres de rebordes y de muy buena terminación.

7. Procedimiento de ensayo - Parámetros de trabajo:

Los tubos a ser controlados se limpian, tanto externa, como internamente, para evitar que cualquier suciedad o grasitud sea detectada y acuse un valor erróneo. Luego de la limpieza, se cierran en sus extremos con tapones plásticos.

Antes de pasar por la piletta de ensayos propiamente dicha, se mojan previamente los mismos, con el fin de disminuir al mínimo la posibilidad de que se formen burbujas de aire, que provocarían falsas indicaciones de fallas.

Los tubos de Zry-4 son examinados con un avance de 1.7 m/min. y a 1150 r.p.m. (aprox. 1.5 mm/rev.).

A medida que va siendo examinado helicoidalmente el tubo, se va documentando sobre el registrador multicanal el gráfico correspondiente al mismo.

El gráfico que se obtiene y que define la aceptación o rechazo de una vaina es como el que se muestra en la Figura N°12.

Los tubos son secados a la salida de la piletta de ensayos mediante una tobera de aire.

Para asegurar que las condiciones del equipo se mantengan durante el procedimiento, se verifica su estado de calibración cada 10 minutos, haciendo pasar el tubo patrón.

El gráfico que se obtiene haciendo pasar el tubo de referencia es el que se muestra en la Figura N°13.

8. Confiabilidad de los resultados:

en el ensayo de tubos con ultrasonido, a velocidades de ensayo relativamente altas, se suscitan frecuentemente discusiones sobre la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados.

La frecuencia de repetición de impulsos y la cantidad de r.p.m., a que gira el tubo, deben estar coordinadas según un cálculo de tal modo, que se logre una densidad de puntos de ensayo suficientemente alta.

Es muy importante, en el ensayo dinámico, tener en cuenta la influencia del largo de falla, el avance y el ancho focal del palpador sobre la reproducibilidad de los resultados.

En el proceso de ensayo, el ancho focal describe una helicoide a lo largo del tubo. Si se selecciona el avance de tal manera que el paso helicoidal no supere el valor del ancho focal, entonces estamos asegurando un ensayo del 100 % del volumen del tubo.

Entre los factores a tener en cuenta, cuando se está tratando de establecer la velocidad de control, se pueden numerar los siguientes:

a) La frecuencia de repetición de impulsos: Debe establecerse cuál es la relación impulsos/segundo de los detectores ultrasónicos y establecer, a partir de aquí, cuál es la cantidad de medidas que se quieran realizar por cada vuelta que dé el tubo.

b) El tiempo de respuesta del equipo: a mayor velocidad de tubo, se necesitará una mayor velocidad de respuesta del equipo.

c) Control de la estabilidad de la geometría tubo-palpadores: si bien, el equipo NUKEM tiene un compensador de vibraciones, éste tiene efecto en el orden de 2 mm, por encima de este valor, se obtendrían señales parásitas.

Una experiencia realizada fue la de hacer pasar el tubo de referencia con distintas relaciones de avance y r.p.m., pudiendo sacarse las siguientes conclusiones:

1) Para un avance constante (2 m/min.) y con valores de giro decrecientes (entre 1400 y 450 r.p.m.), la sensibilidad de captación de fallas y medición de dimensiones, no se modifica.

2) Para una velocidad de giro constante (1150 r.p.m.) y con valores de avance crecientes (entre 1 y 4.5 m/min), la sensibilidad de captación de fallas transversales disminuye en casi un 10 % (debido al aumento excesivo de vibraciones), pero

la detección de fallas longitudinales y dimensiones permanece casi constante.

Todas estas apreciaciones se hicieron directamente sobre el registrador del equipo de ultrasonido para una velocidad de avance de papel constante.

9. Conclusiones:

en el equipo de ensayos NUKEM se ha realizado un control en aproximadamente 8000 vainas de Zry-4, las cuales provenían de la firma NRG (Alemania).

En este total, se encontraron 20 vainas falladas, lo cual habla de un porcentaje de descarte bajo (hay que hacer la consideración de que estas vainas venían ya certificadas por el fabricante).

El descarte fue motivado, en la mayoría de los casos, por fisuras o improntas debidas seguramente a problemas en su embalaje y transporte (todas las fallas encontradas eran externas).

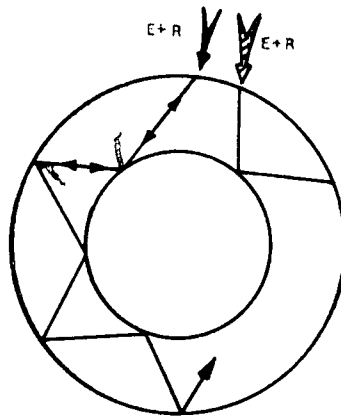
Debemos hacer hincapié en este momento en la importancia que tiene el posterior embalaje y transporte del material aprobado por ultrasonido; más especialmente en este caso, en que las dimensiones de las fallas que se rastrean son muy pequeñas.

Las vainas falladas fueron pasadas nuevamente, luego de un período por el equipo de ensayo, verificándose la presencia de las mismas, con la misma amplitud; lo cual certifica al equipo de control en cuanto a su fiabilidad y reproducibilidad (comprobada en este caso con fallas naturales).

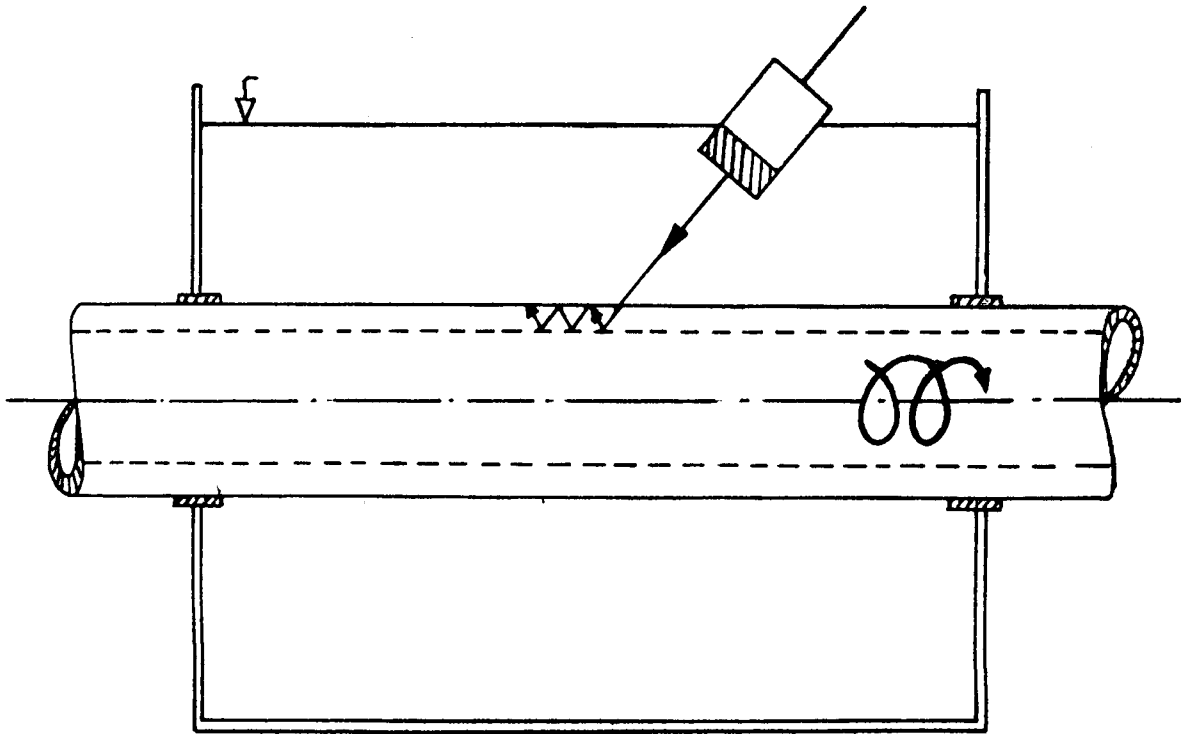
De todos modos, siguen en estudio otros posibles ensayos que sirvan para seguir poniendo a prueba la confiabilidad de los resultados.

10. Bibliografía:

- a) "Characterisation of ultrasonic transducers" E. Borloo and P. Jehenson. Ed. Commission of the European Communities - Joint Research Centre - ISPRA.
- b) "Inspección automática de tubos de pequeño diámetro por ultrasonido". J.L.R. Bauza y J. Díaz. Ed.: Revista de Metalurgia, T5, V.2 - 1969.
- c) "Probleme bei der Rohrprüfung". Walter Sternberg.-



Esquema de la disposición para la detección de fallas longitudinales por inmersión.



Esquema de la disposición para la detección de fallas transversales por inmersión.

Figura N°1

Fig. 2.: EQUIPO DE ENSAYO.

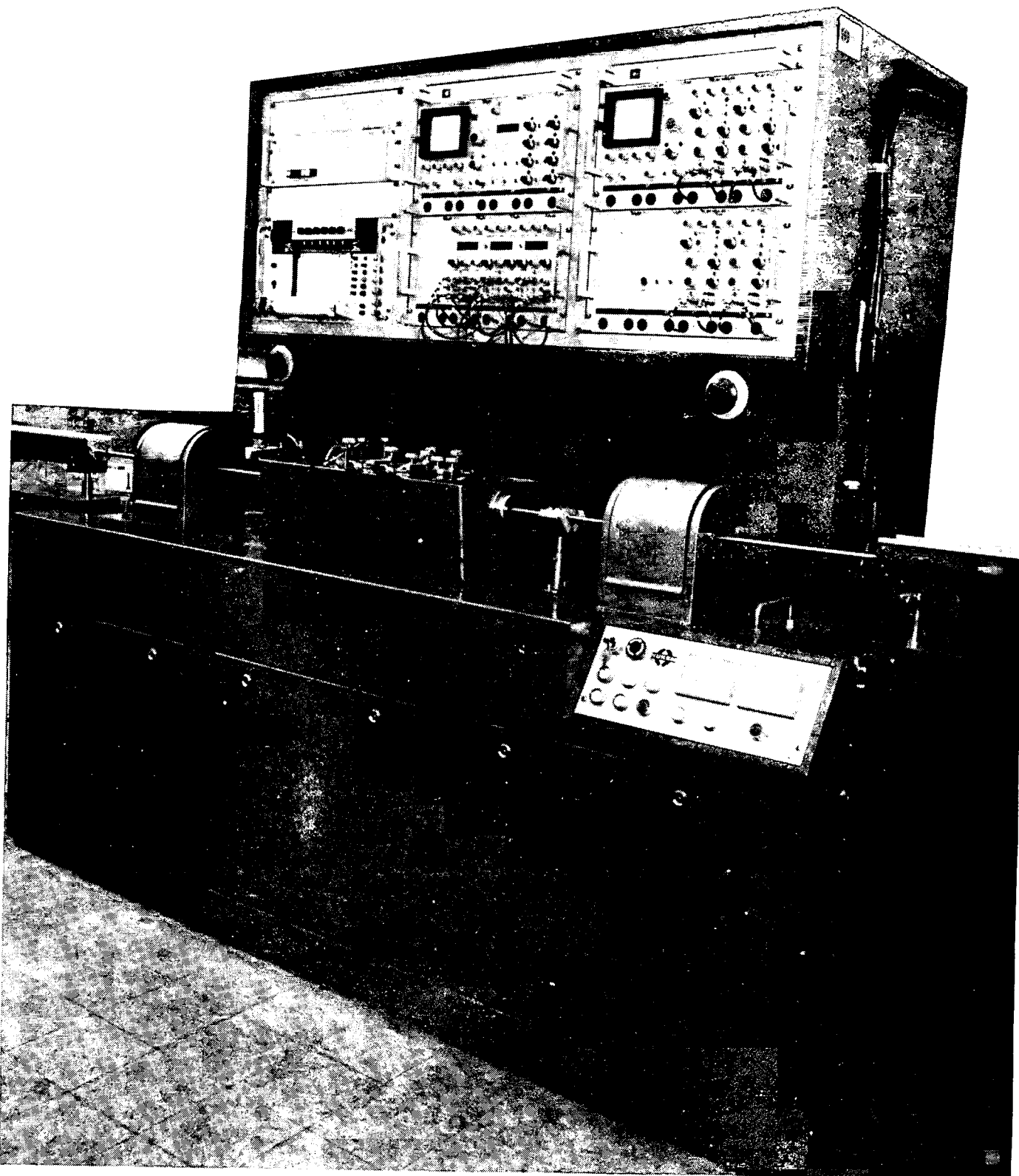


Fig. 3.: Pileta de ensayos

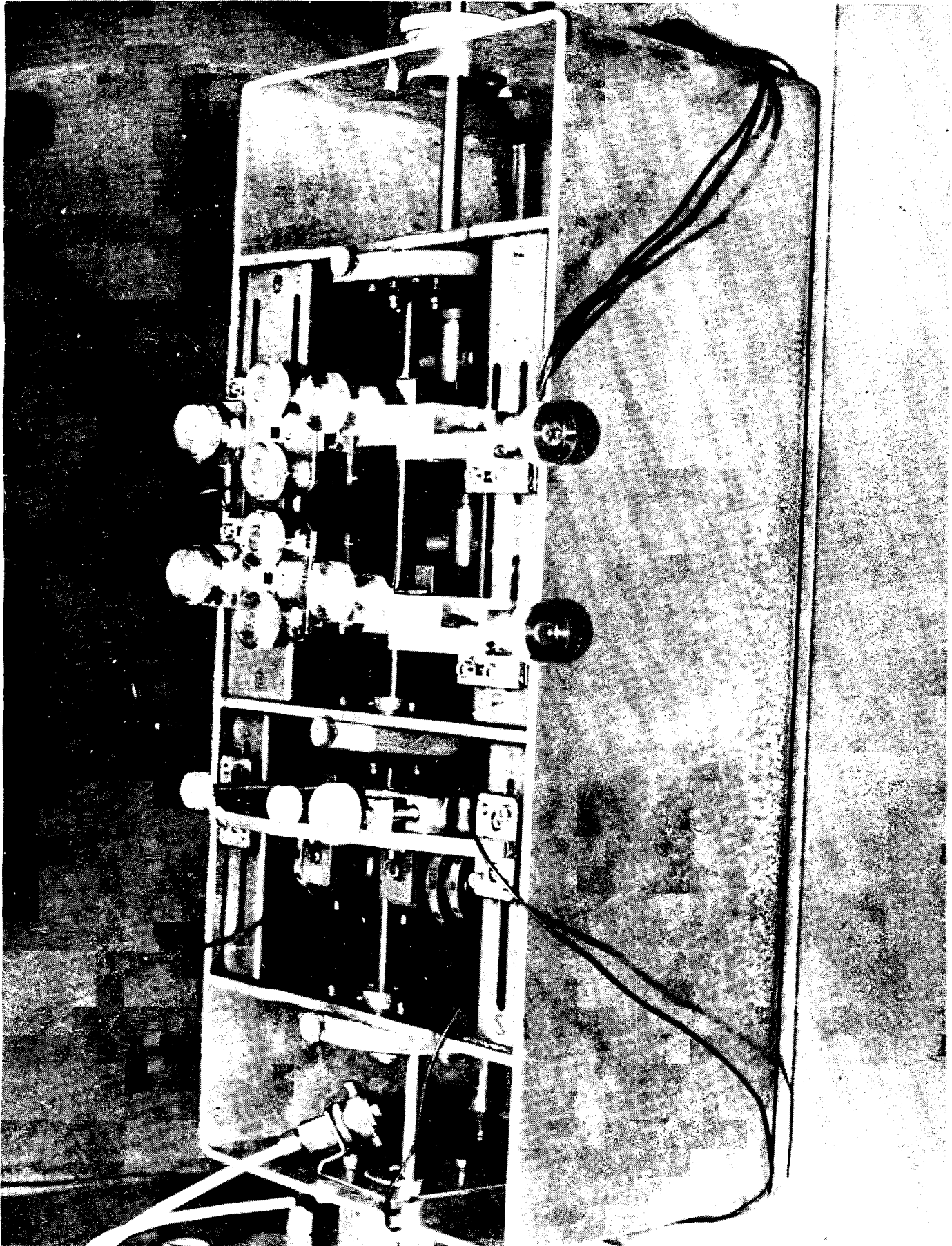


Fig.4.: Grado de libertad de los palpadores: a) Longitudinal; b) Transversal.

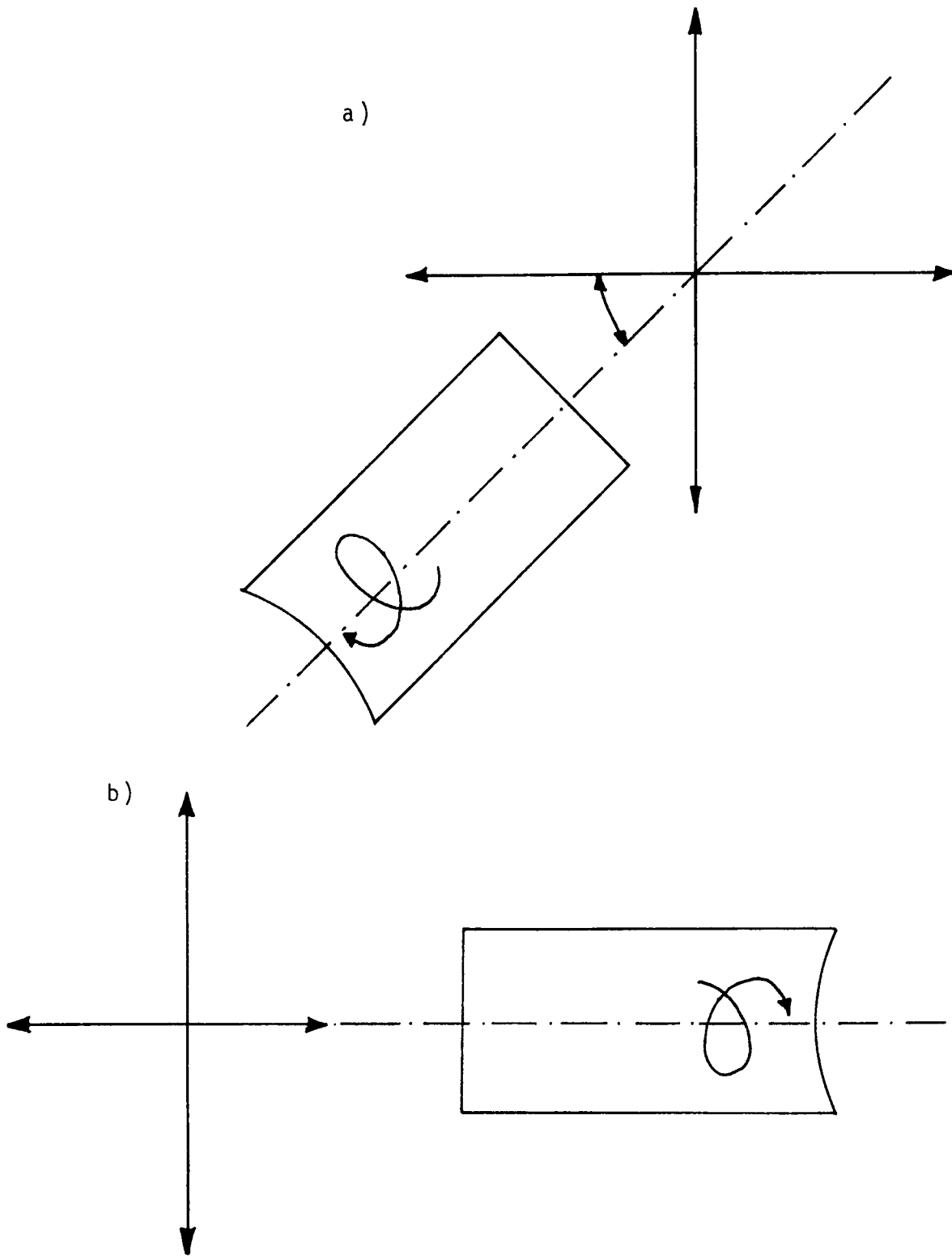


Fig. 5.: Componentes electrónicos

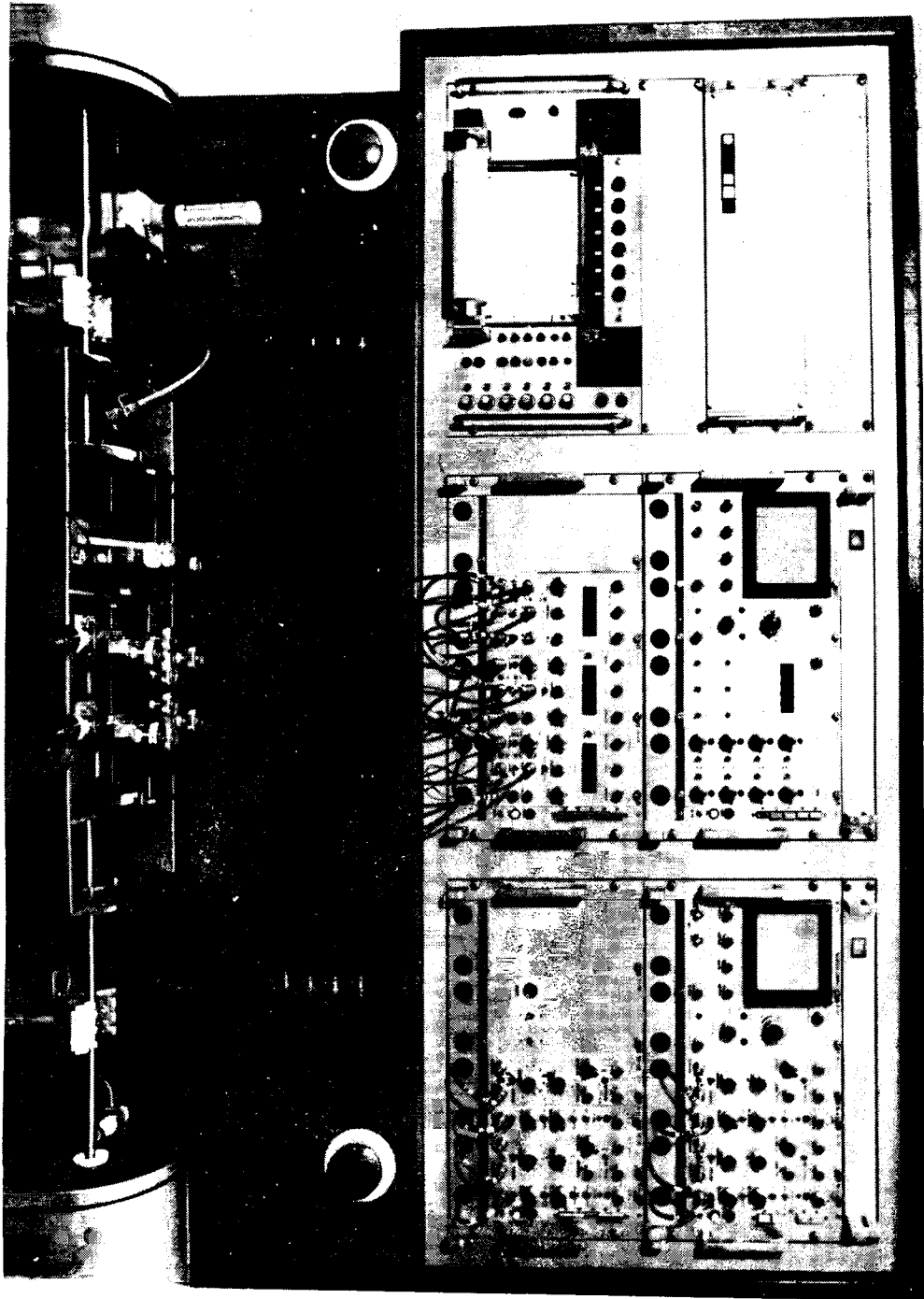


Fig.6.: Sistema de impulsión

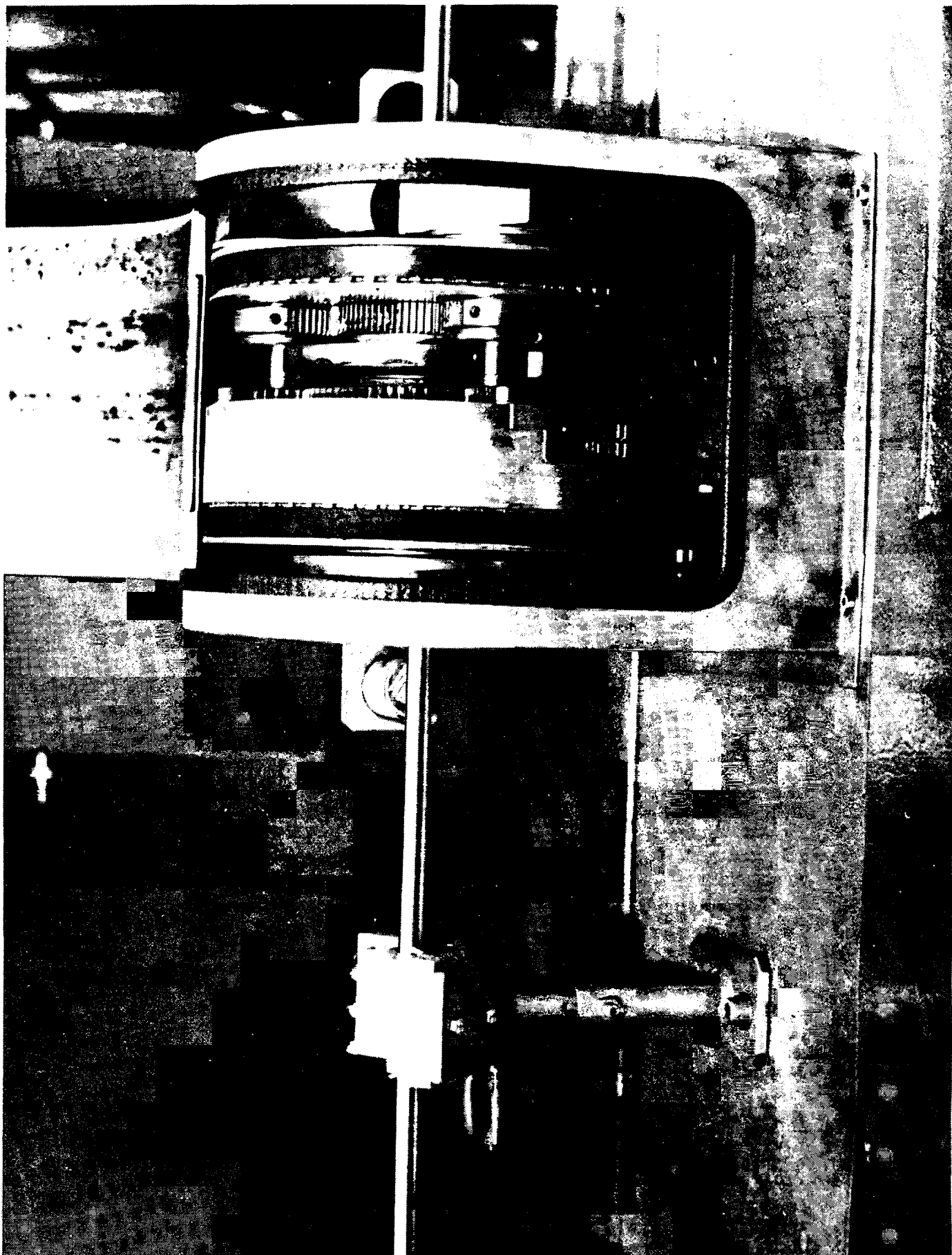


Fig. 7.: Panel de control

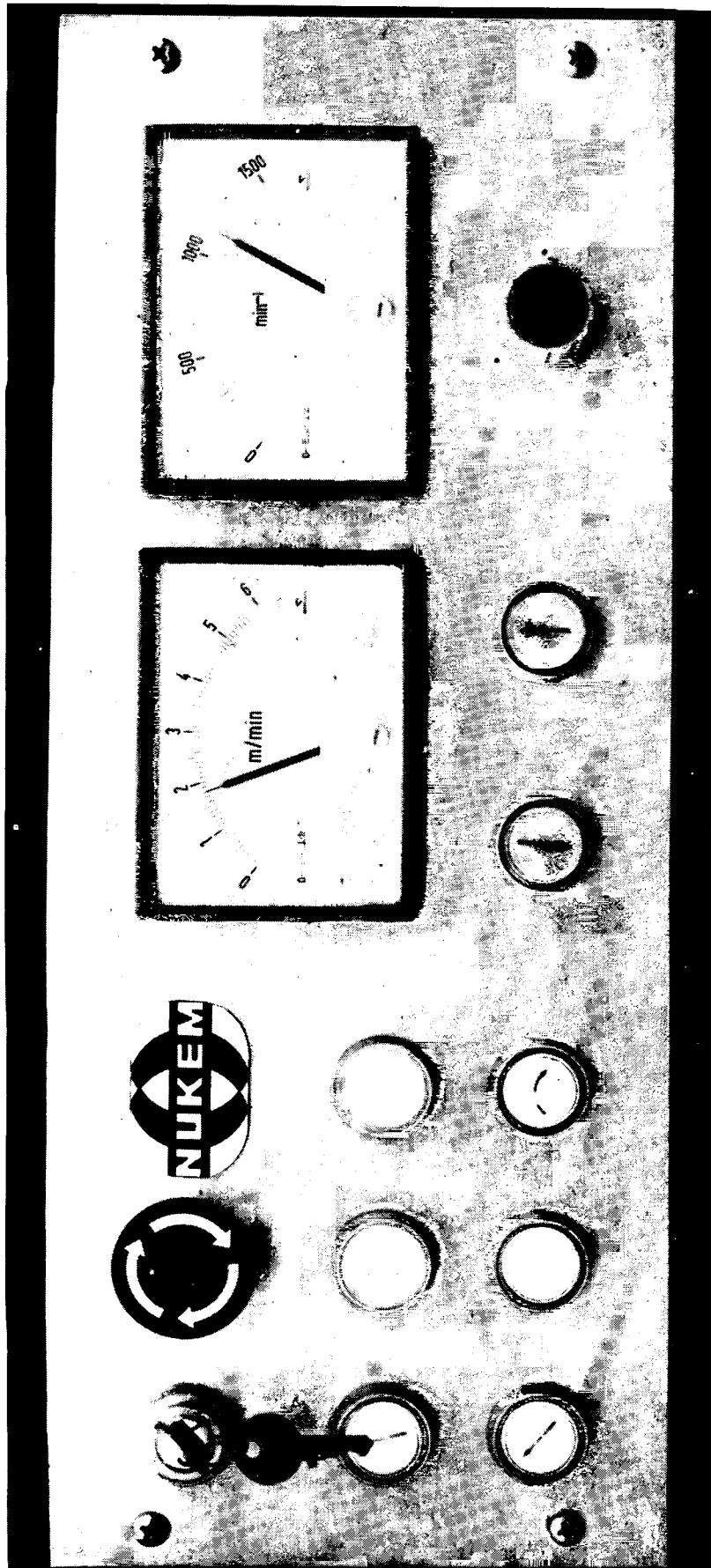
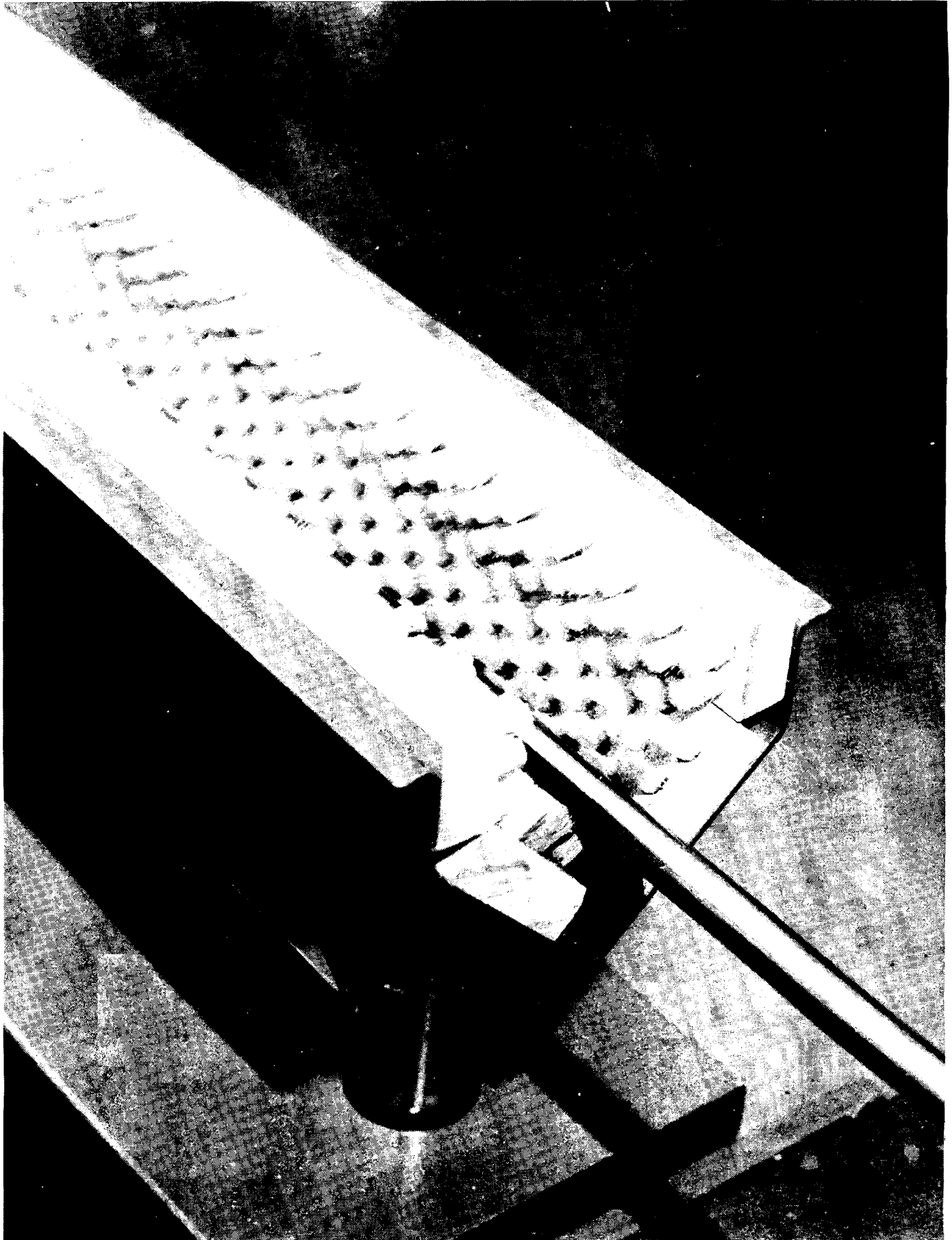


Fig. 8.: Guías





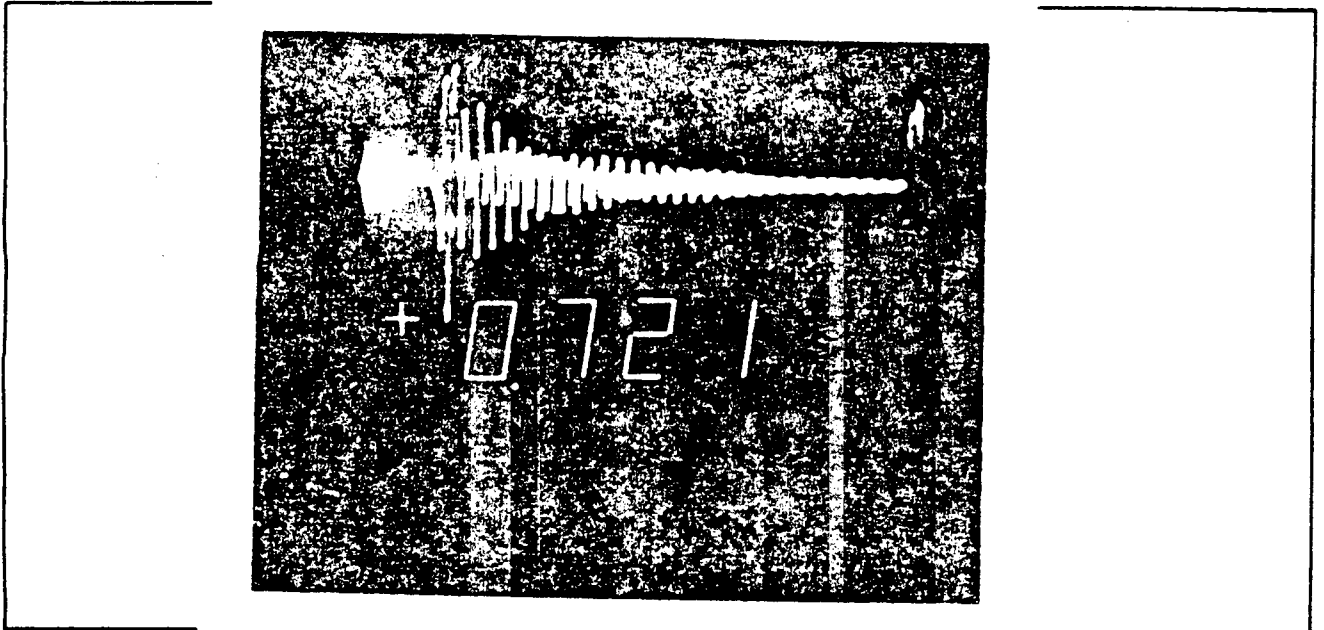
NUKEM GmbH
Postfach 110680
D-6450 Hanau 11

Ultraschall - Prüfkopf - Vermessung

Typ: 15SW13 Frequenz: 15 MHz
(Max. Abstr.)

Nr.: R 390 () Pel. Empf.: 22 dB
(1. Echo 100%)

Datum: 23.11.77



Aufnahme Nr.

Maßstab 1:1

Aufnahme Nr.

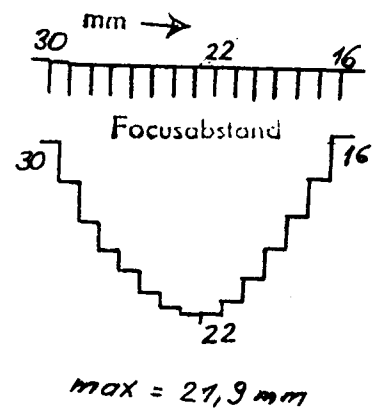
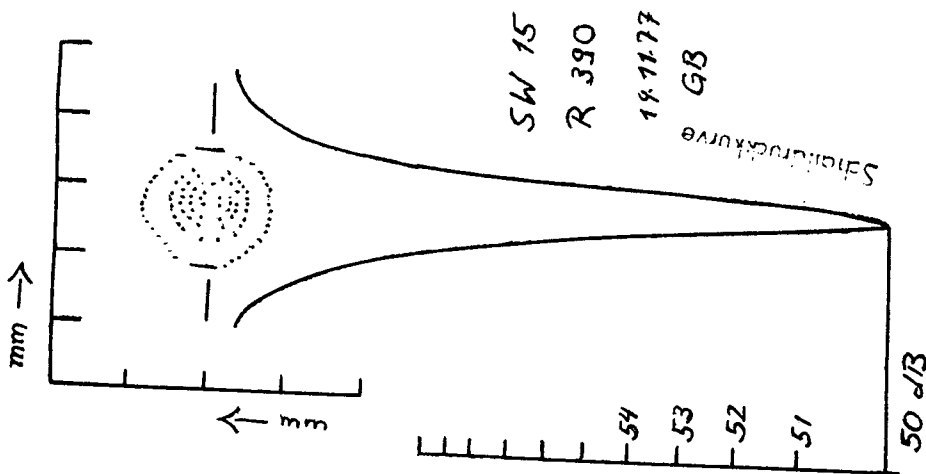


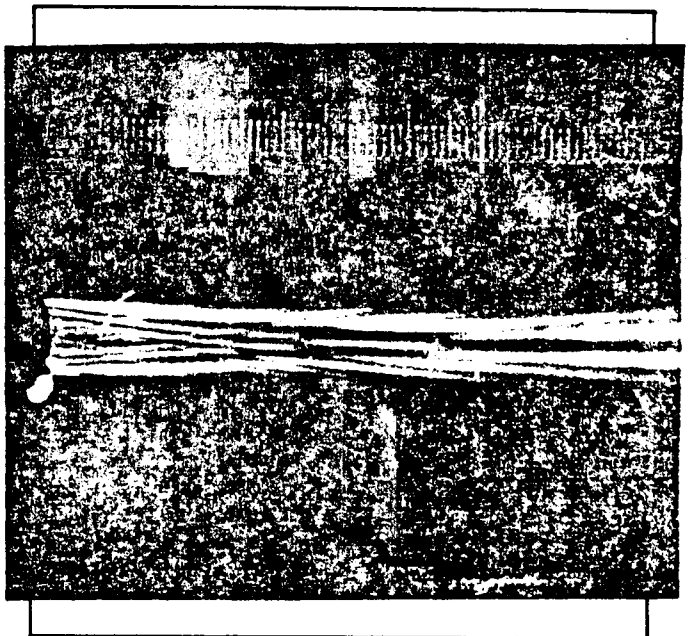
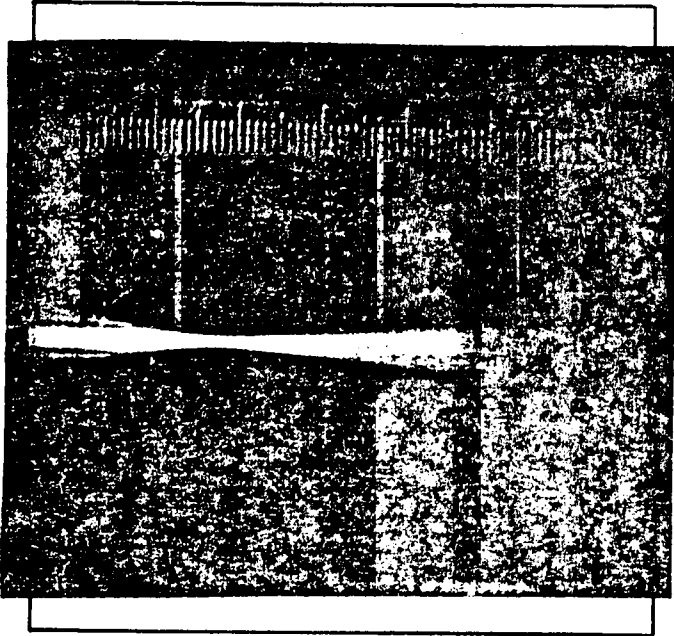
Figura N° 9: Certificado de un palpador puntualmente focalizado.



NUKEM GmbH
Postfach 110080
D-6450 Hanau 11

Ultraschall - Prüfkopf - Vermessung

Typ: **5PT13LE** Frequenz: **5** MHz
(Max. Abstr.)
Nr.: **N 438** () Rel. Empf.: **22** dB
(1. Echo 100%)
Datum: **30.3.78**



Aufnahme Nr.

Maßstab 1:1

Aufnahme Nr.

mm →

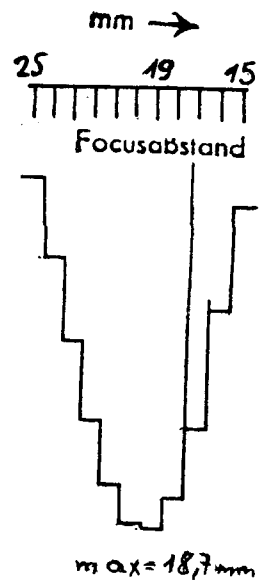
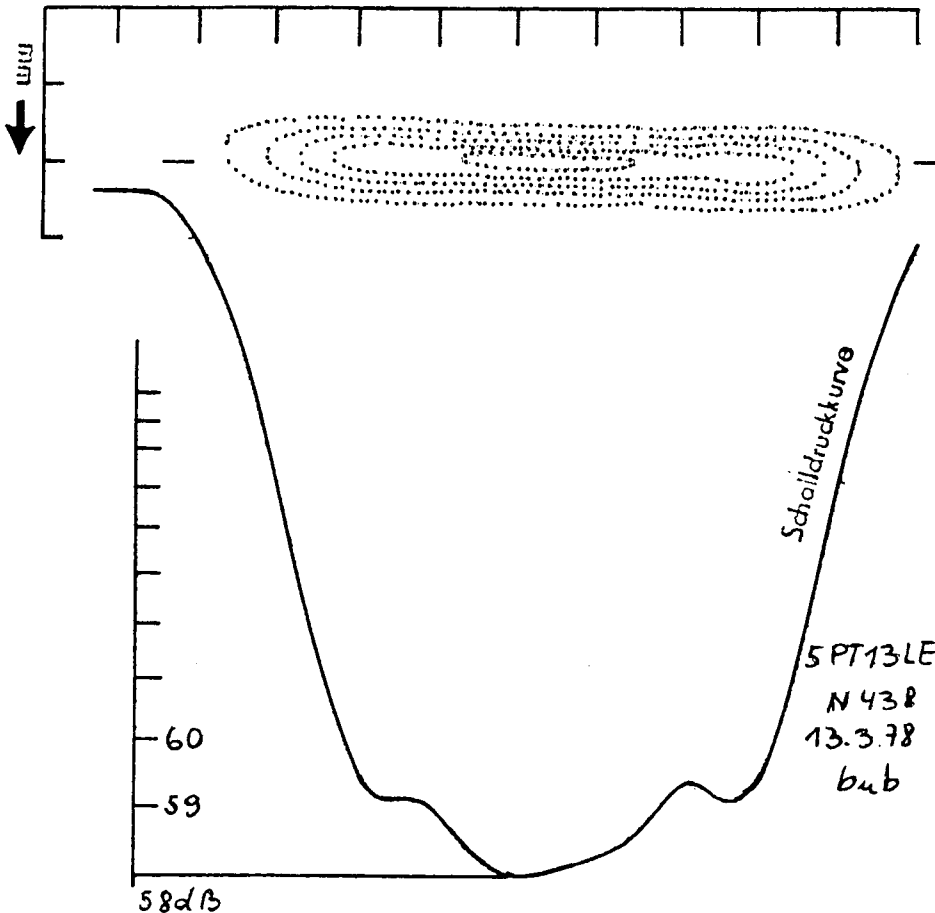


Figura N°10: Certificado de un palpador de enfoque lineal.

Tubo Patron - Certificado de Fabricación

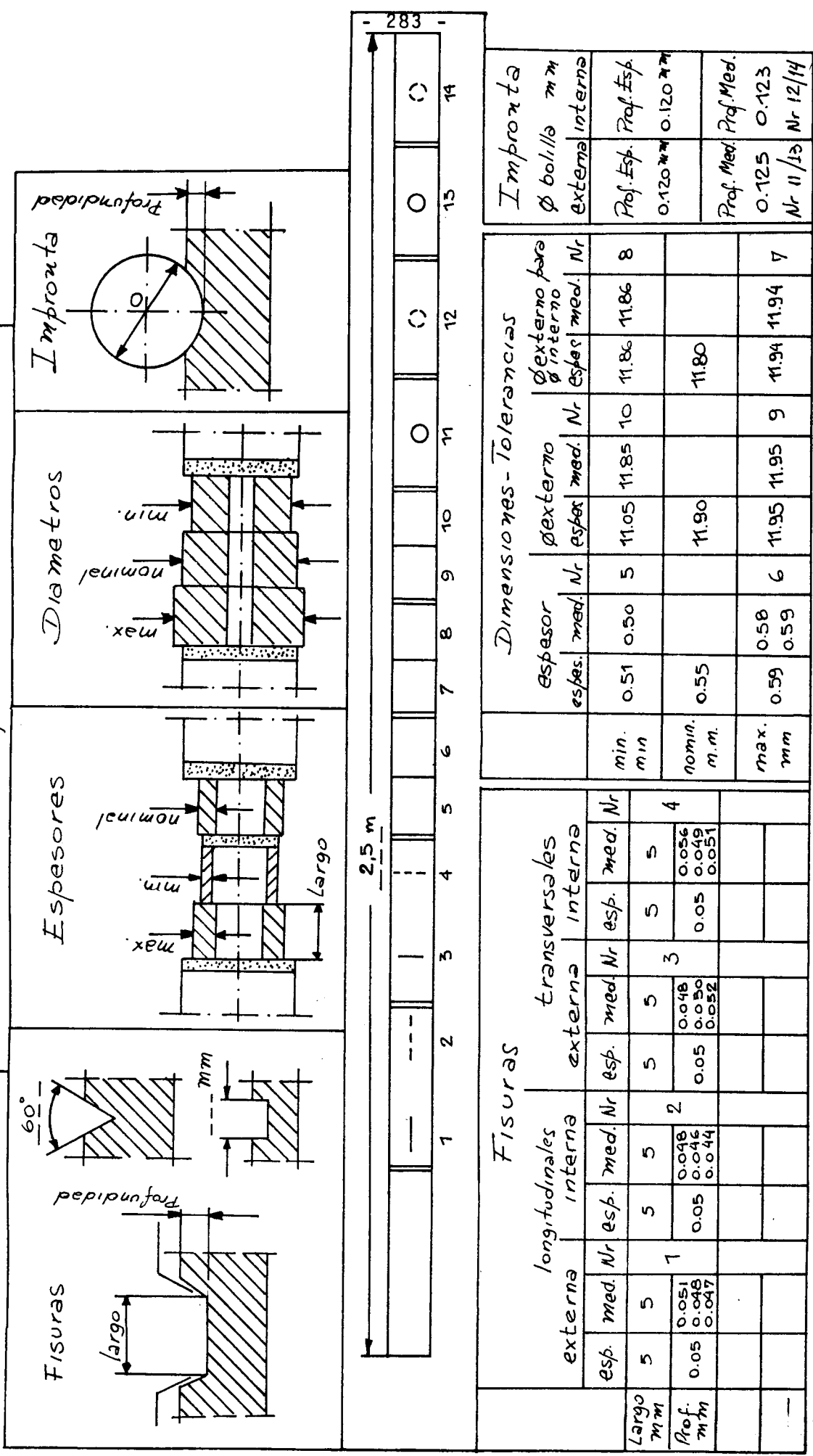
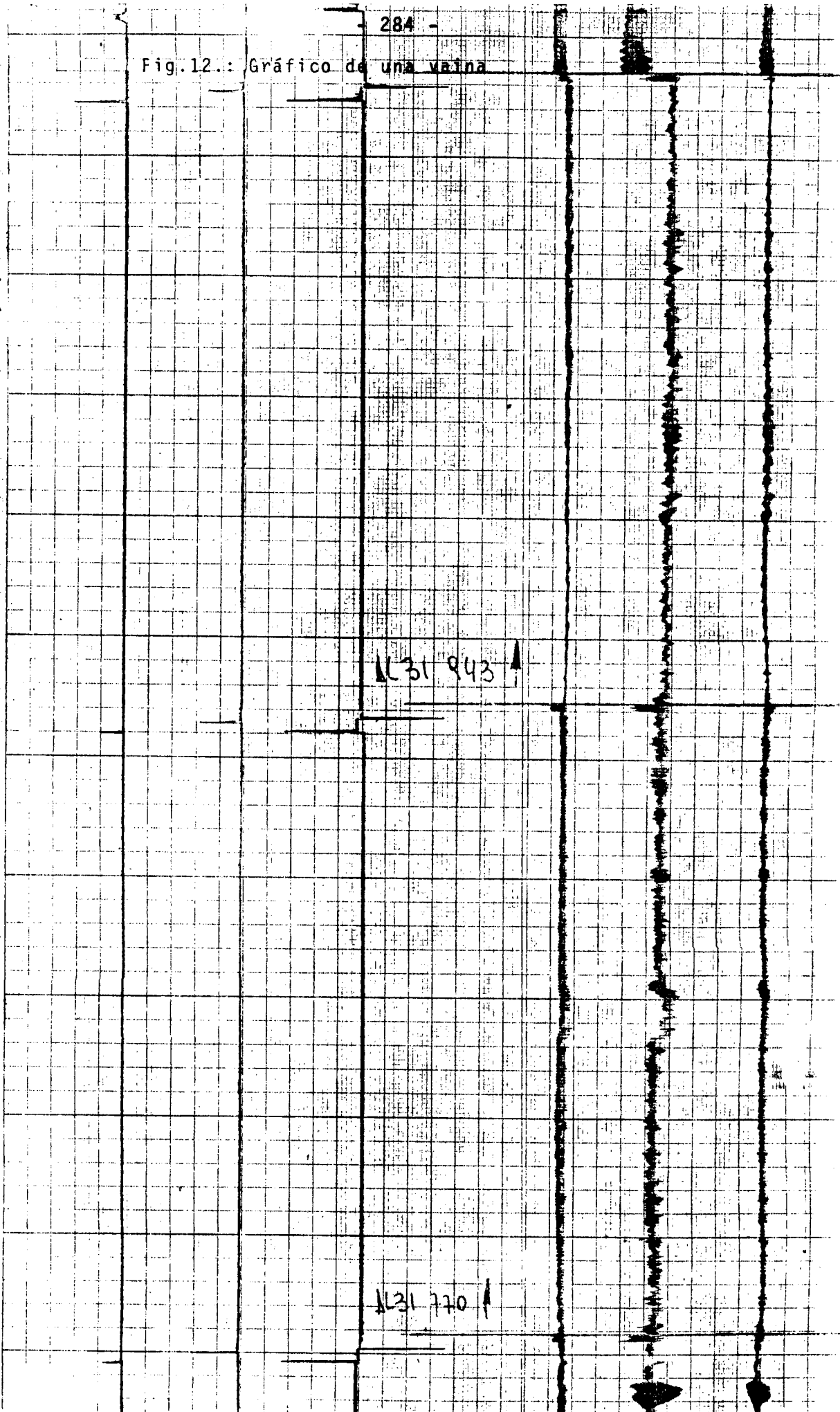


Figura N°11: Plano de fabricación del tubo patron

Fig. 12.: Gráfico de uma vaina

131 943

131 770



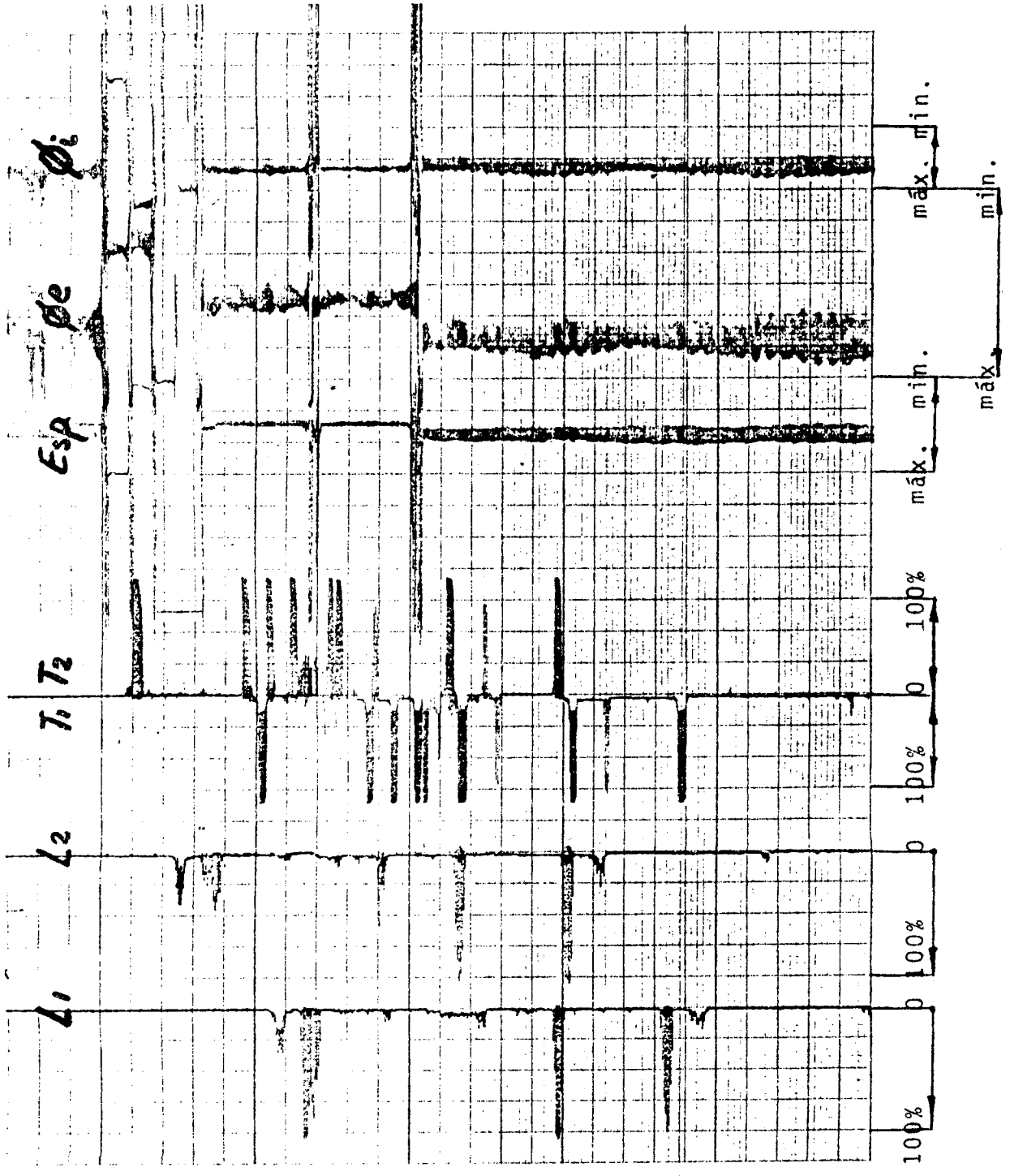


Figura N°13 : Tubo de fallas patrón (gráfico)