

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	Nº 1967

09.67.02

DEPARTAMENTO DE REACTORES
LABORATORIO DE FLUIDODINAMICA

Noviembre de 1967

DETECTOR DE LA FRACCION DE VAPOR
POR ATENUACION DE RAYOS X

Arnaldo Blumenkrantz

David G. Parkansky



INTRODUCCION

El problema del cálculo y la medición experimental de la fracción de vacío (relación entre el área ocupada por el vapor y el área total de la sección transversal), es fundamental para el estudio del escurrimiento bifase.

En el caso de los reactores nucleares en que el líquido refrigerante actúa también de moderador, la cantidad de vapor presente y su distribución influyen directamente no solo el funcionamiento térmico-hidráulico del núcleo, sino también el nuclear.

Dado que las dos fases circulan con velocidades diferentes, la determinación de la fracción de vacío supone un amplio trabajo experimental, para determinar precisamente las correlaciones empíricas que gobiernan el "slip ratio", cociente entre las velocidades del vapor y del líquido.

En el caso de la ebullición local, por otra parte, la fracción de vacío no puede calcularse a partir del balance energético, dado el desequilibrio termodinámico del escurrimiento, siendo necesario medirla.

La verificación experimental de los modelos teóricos para inestabilidades de caudal bifase exige disponer de detectores dinámicos de la fracción de vacío; ya que la cantidad de vapor presente juega un papel esencial en el comportamiento dinámico de un canal calentado y en la generación de oscilaciones.

Interesa pues conocer las relaciones entre el

flujo térmico y la fracción de vacío, así como las vinculaciones entre la fracción de vacío y los fenómenos críticos de transferencia calórica: Burnout, inestabilidades térmico-hidráulicas.

En el laboratorio de Fluidodinámica del Departamento de Reactores se encuentra en realización un programa experimental sobre transmisión de calor con ebullición y fenómenos críticos de Burnout.

En relación con este programa, se ha prestado particular atención al problema de la medición de fracción de vacío en secciones de ensayo calentadas eléctricamente y refrigeradas por agua con ebullición local, en condiciones de funcionamiento estacionario y transiente.

Se ha desarrollado con este objeto un densitómetro de rayos X que se describe a continuación.

METODOS DE MEDICION

La bibliografía registra diversos métodos para medir la fracción de vacío en circuitos experimentales que han sido sugeridos y ensayados (1,2).

Entre las propiedades de la mezcla bifase que han sido usadas para ello, podemos citar: la absorción de radiaciones (3,4), impedancia (5,6), propiedades acústicas (7), conductividad térmica, concentración de radioisótopos disueltos.

Los métodos basados en la atenuación de radiaciones son, con mucho, los mas usados para la medición de la fracción de vacío, y los que han sido estudiados más a fondo. Se basan en la absorción que un haz de radiaciones emitidas por una fuente sufre al atravesar la sección de ensayos conteniendo la mezcla bifase.

Se pueden usar sistemas a rayos X, γ o β . El método por atenuación de rayos X ofrece ventajas con respecto a los sistemas que usan rayos γ : la fuente, además de no presentar problemas de decaimiento, puede ser mucho mas intensa, haciendo posible obtener resultados satisfactorios incluso en tiempos muy breves, sin que la incertidumbre debida a fluctuaciones estadísticas de la fuente sobrepase valores aceptables (requisito esencial para el estudio de fenómenos dinámicos).

Es conveniente el uso de fotones de baja energía, para aprovechar los altos valores del coeficiente de absorción y obtener una mayor discriminación entre el agua y el vapor, al menos cuando el uso de paredes gruesas o

secciones de gran diámetro no impone el empleo de radiaciones mas penetrantes. Desde este punto de vista los rayos X se equiparan a los rayos β .

Es de destacar que los mejores datos de fracción de vacío en régimen de ebullición local han sido obtenidos usando fuentes β o rayos X de baja energía.

Se seleccionó así el sistema a rayos X, considerándolo muy promisorio para un detector dinámico de la fracción de vacío (8), y teniendo en cuenta que el rango de energías disponible permitirá estudiar dicha función en condiciones de ebullición local.

CONSIDERACIONES GENERALES

El uso de un haz de radiaciones monocromático colimado simplifica la interpretación de los resultados, ya que permite el empleo de leyes simples exponenciales de absorción para las diversas geometrías de la distribución vapor-agua.

Una buena colimación elimina los fotones secundarios originados por el efecto Compton, que distorsionarían la medición. También el uso de un espectrómetro con discriminación de energía permitiría eliminar dichos fotones secundarios, pero su empleo es difícil en la medición de haces muy intensos.

La radiación emitida por un tubo de rayos X con anticátodo de tungsteno se compone de un espectro continuo sobre el que se superponen las radiaciones características de las transiciones $K\alpha$ y $K\beta$, con energías de 58,5 Kev y 68 Kev. El uso de un filtro de tungsteno, muy poco absorbente en la banda comprendida entre 55 y 70 Kev, pero muy absorbente fuera de ella, transforma dicha radiación en un haz prácticamente monocromático (Fig. 2).

Usando dos haces de radiaciones idénticos, originados en la misma fuente, con secciones de ensayo y detectores iguales, se puede medir la diferencia de absorción entre la sección real y la de referencia, que se mantiene permanentemente llena de agua. Si se usa la misma fuente de alta tensión para ambos detectores, y se ajusta convenientemente el equipo, se consigue anular las variaciones debidas a fluctuaciones de la fuente de ra-

yos X y de la fuente de alta tensión, aumentando considerablemente la exactitud de la medición.

La alta intensidad de la radiación usada y el interés de efectuar mediciones dinámicas impidió el uso de técnicas de conteo de pulsos, imponiendo la medición de corrientes.

El objetivo de efectuar mediciones dinámicas impuso el empleo de la técnica "one shot".

Sin embargo, el barrido transversal de la sección de ensayo con un haz delgado queda planteado como una posibilidad futura para mediciones en régimen estacionario. Esta técnica permitirá analizar la distribución de la mezcla bifase.

DESCRIPCION DEL EQUIPO (Fig. 1)

Fuente de rayos X. Consta de un tubo con anticátodo de tungsteno, cuyos rangos máximos de voltaje y corriente son respectivamente 150 KV y 12 mA. El anticátodo es refrigerado durante el funcionamiento por un circuito especial con un caudal superior a 4 litros/min. Si el caudal baja de dicho valor, un mecanismo de seguridad corta automáticamente la alta tensión.

El tubo está montado sobre un sistema móvil, con brazos rotables, que permite modificar su posición y dirección según las necesidades.

A la salida del tubo de rayos X se encuentra un colimador de plomo con dos orificios oblicuos dirigidos hacia el anticátodo ($\phi = 2,5$ mm), vinculados con los dos haces de radiaciones a que se ha hecho mención precedentemente. A continuación, un filtro de tungsteno hace la radiación prácticamente monocromática.

Secciones de ensayo. A unos 40 cm de la fuente e interceptando cada uno de los haces están la sección de ensayos propiamente dicha y la sección de referencia, igual a la anterior pero permanentemente llena de agua.

Sistema de detección: Los detectores consisten en cristales de INa (Ta) de 2" de largo y 2" de diámetro, con su fotomultiplicador integrado, marca Harshaw, alimentados por una fuente de tensión negativa, trabajando a 1100 V.

A la salida de la fuente, un potenciómetro permite variar el voltaje de alimentación de los fototubos, compensando así posibles diferencias de ganancia.

Teniendo en cuenta que las variaciones de temperatura influyen en la ganancia de los fotomultiplicadores, se los ha colocado dentro de una caja con hielo seco.

Ambos cristales están protegidos por carcassas de plomo, con un orificio axial de 1 cm de diámetro, que actúa al mismo tiempo como colimador.

Las señales de ambos fototubos se envían a un amplificador diferencial, y la señal resultante es visualizada en un registrador oscilográfico Offner.

La señal de los detectores ha sido filtrada para eliminar ruidos, colocando capacitores en paralelo. Es de destacar que la introducción de este elemento desmejora las performances de respuesta dinámica del equipo, correspondiendo hacer un compromiso entre ambos requerimientos en cada aplicación especial.

Una chapa de lucite de espesor conocido puede intercalarse ante la sección de ensayos, permitiendo obtener una señal de calibración durante el funcionamiento.

ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS DE FUNCIONAMIENTO

Se remplazó en una primera etapa la sección de ensayos por un conjunto de placas de lucite de espesor constante, que se interponían aditivamente. Se seleccionó dicho material por ser su coeficiente de absorción muy cercano al del agua. Se verificó que los resultados de las mediciones de atenuación de rayos X por placas planas de lucite concordaban estrechamente con la ley de atenuación exponencial, y se consideró este resultado como prueba de la ausencia de fenómenos secundarios que distorsionasen la medición en el régimen estacionario. Se determinó que las condiciones óptimas de funcionamiento de nuestro dispositivo, basadas en el requerimiento de máxima sensibilidad y penetración suficiente, eran 80 KV, 7 mA.

La manera en que las fases se distribuyen en un escurrimiento agua-vapor, puede influir marcadamente en el resultado de la medición de fracción de vacío. Siendo nuestras secciones de ensayo circulares, y habiéndose centrado nuestro programa en el estudio del régimen de ebullición local, se consideró importante calibrar nuestro detector con respecto a una configuración anular compuesta de una capa de vapor cercana a la pared, y un núcleo de líquido en el centro.

Se simuló dicha configuración con un tubo de acero inoxidable similar a los usados en las secciones de ensayo de nuestras experiencias, por dentro del cual se hacía desplazar barras de lucite de distinto diáme-

tro, perfectamente centradas. El resultado de estas mediciones está presentado en la Fig. 3a.

La Fig. 3b presenta los resultados correspondientes a la configuración anular en las variables reducidas $\left(\frac{I - I_1}{I_g - I_1}\right)$ vs α donde los símbolos usados son:

I: Intensidad medida en la experiencia, correspondiente a la fracción de vacío α .

I₁: Intensidad medida con la sección llena de agua.

I_g: Intensidad medida con la sección vacía.

Se analizó la respuesta dinámica del sistema, usando para ello un péndulo de plomo y una rueda dentada de lucite que se hacía girar con distintas frecuencias interponiéndose con el haz de rayos X. Las figuras 4 y 5 muestran los registros obtenidos. El uso de la rueda dentada permitió trazar la curva de amplitudes correspondiente a la respuesta en frecuencia del detector. La Fig. 6 muestra la mejora obtenida en las performances dinámicas del aparato al disminuir el valor de la capacidad usada como filtro a la salida de los fotomultiplicadores. Se observa que al pasar de $10\mu F$ a $1\mu F$, la amplitud relativa correspondiente a una frecuencia de 1 cps pasa del valor 0,34 a 1.

Usando un filtro de $1\mu F$, la banda pasante del sistema detector, basada en una caída de 3 decibels es de 0 a 3,6 ciclos por segundo. Es de destacar que este rango cubre perfectamente las frecuencias observadas en las experiencias sobre inestabilidades hidrodinámicas

en un escurrimiento bifase, ubicadas alrededor de 1,cps.

Un filtro pasa-bajo más elaborado permitiría ampliar aún más dicha banda pasante.

La respuesta en frecuencia del detector es pues adecuada para su uso en fenómenos dinámicos.

REFERENCIAS

- 1 - A. MERELLI - La misura delle frazioni di vuoto in circuiti sperimentali. -RT/ING(64)5-.
- 2 - S. WILLIAM GOUSE, Jr.- Void Fraction Measurement. -Report DSR 8734 - 2-.
- 3 - H. H. HOOKER and G. F. POPPER - A Gamma-Ray Attenuation Method for Void Fraction Determinations in Experimental Boiling Heat Transfer Test Facilities. -ANL - 5766-.
- 4 - J. H. KENDRON - Dynamic Void Fraction Detector. -NAA - SR - Memo. 7403-.
- 5 - I. ORBECK - Impedance Void Meter. -KR - 32-.
- 6 - A. J. WAMSTEKER, C. L. SPIGT et al. - The Application of the Impedance Method for Transient Void Fraction Measurement and Comparison with the Ray Attenuation Technique. -Report WW016 - R66-.
- 7 - VAN der WALLE F. - Study of possible application of acoustical methods for determining void fractions in boiling water. -EURAEK - 366-.
- 8 - H. H. JOHNSON et al. - Reactor Heat Transient Research. -SAN - 1002-.

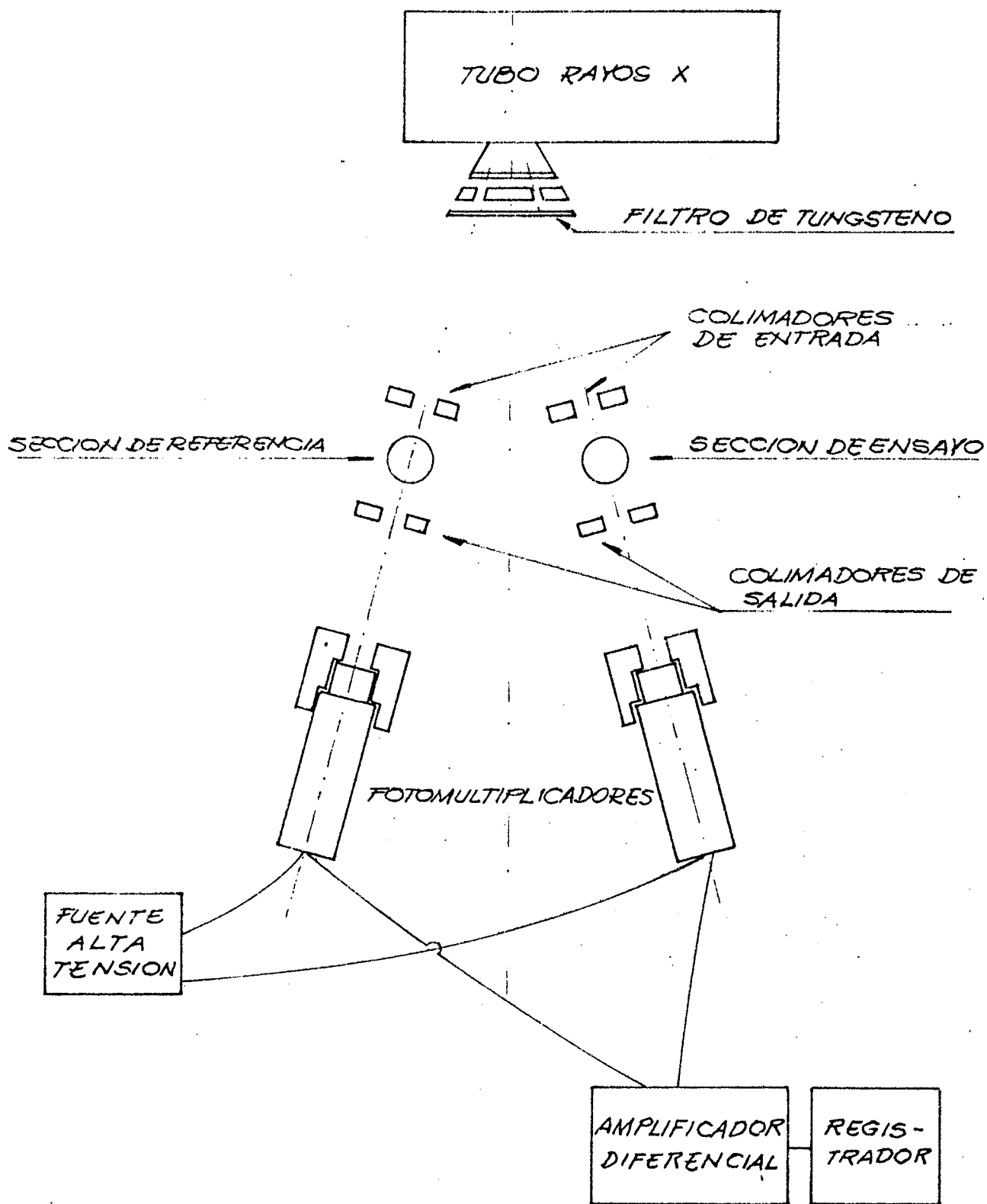


FIG.1 ESQUEMA DEL CIRCUITO.

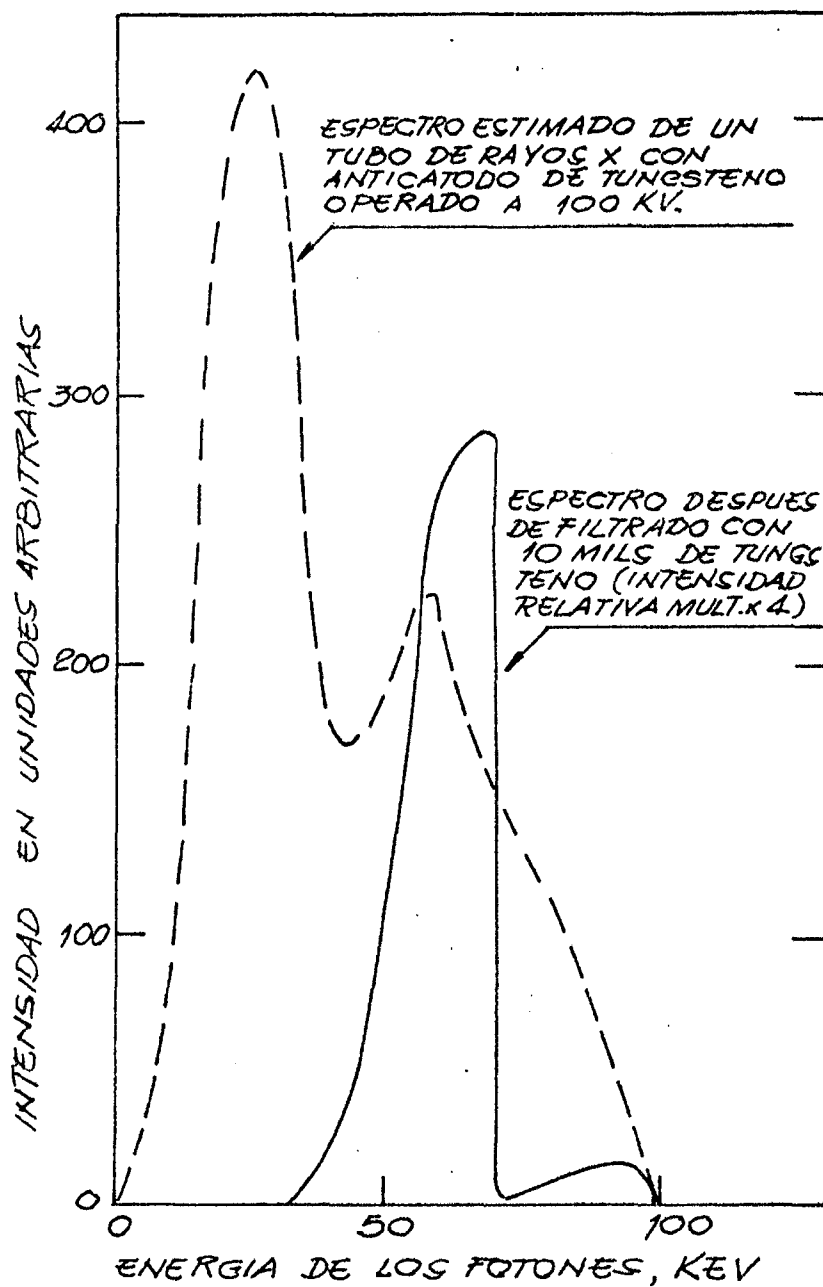


FIG.2 EFECTO DE UN FILTRO DE TUNGSTENO SOBRE EL ESPECTRO DEL HAZ DE RAYOS X (V.E. SCHROCK ET AL REPORT SAN 1005)

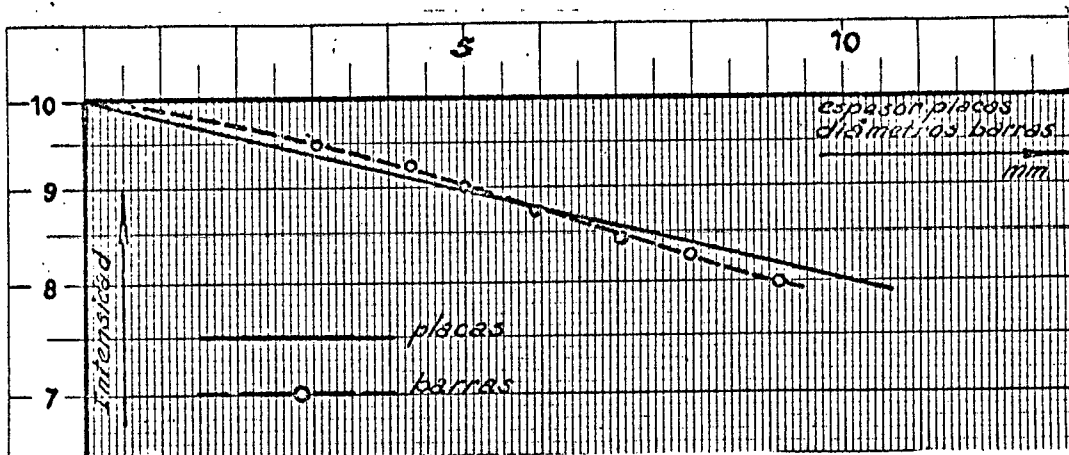


Figura N°3a

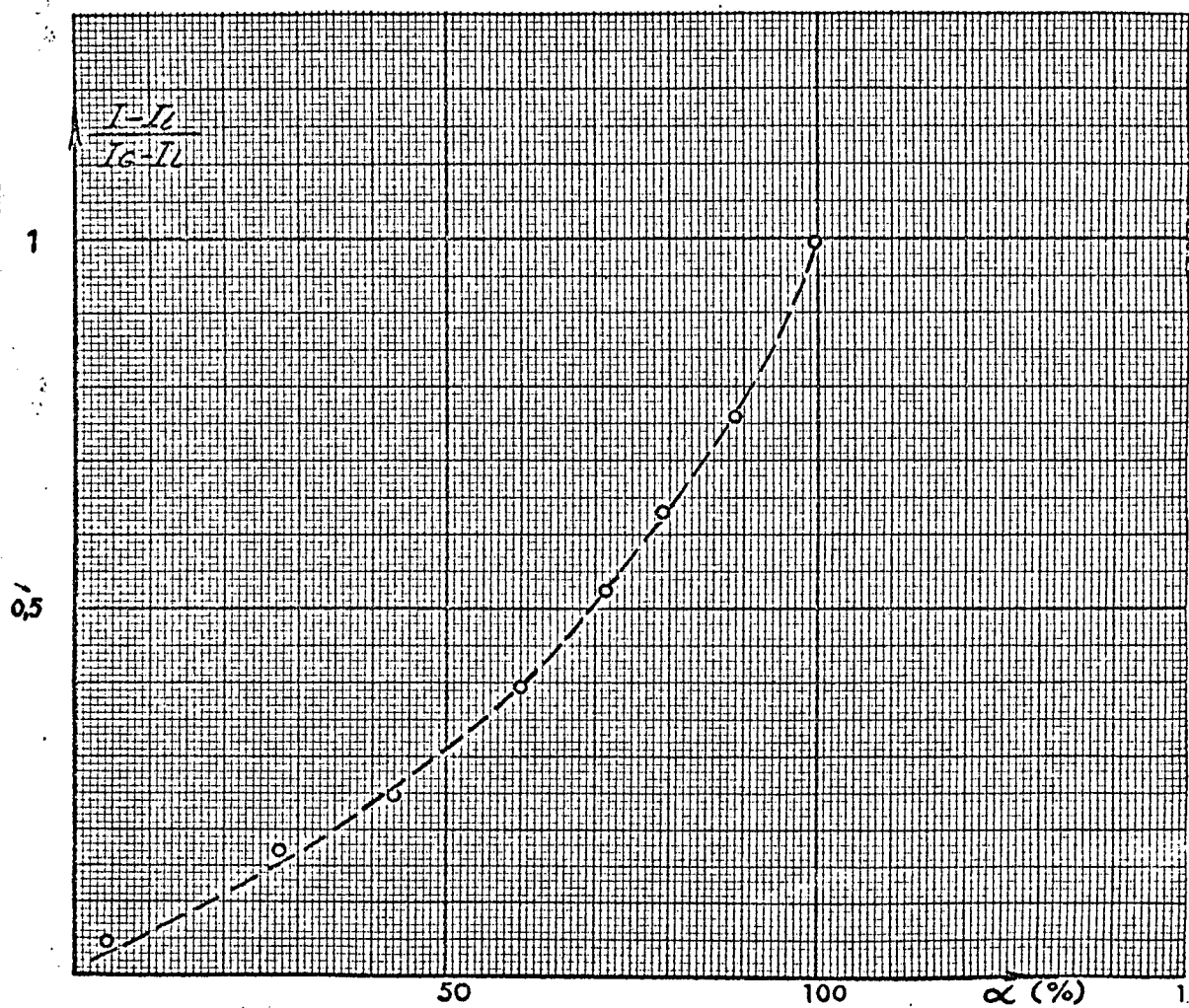
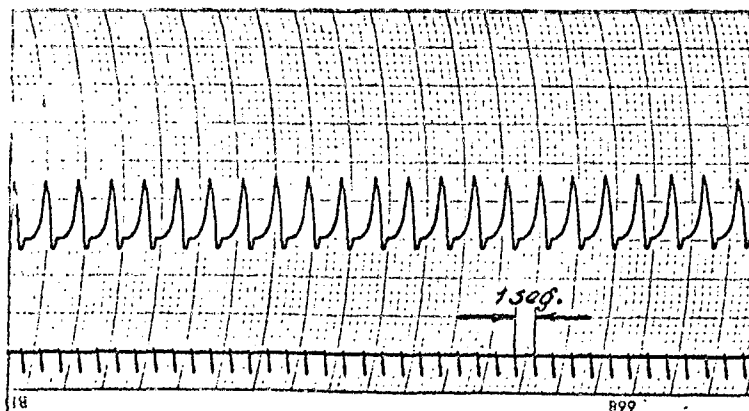
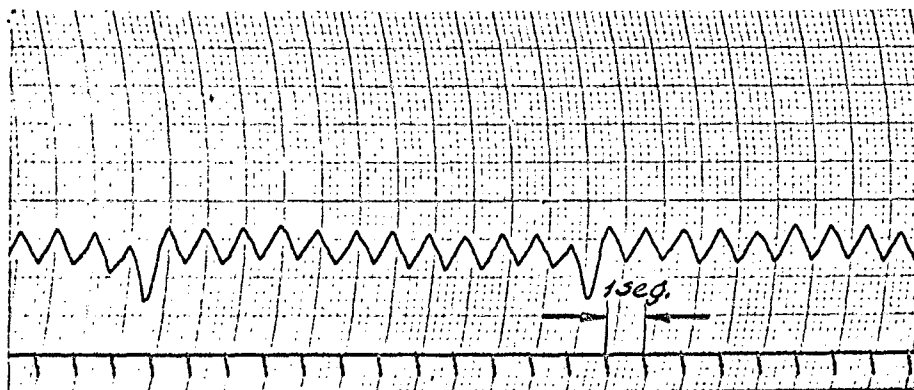


Figura N°3b

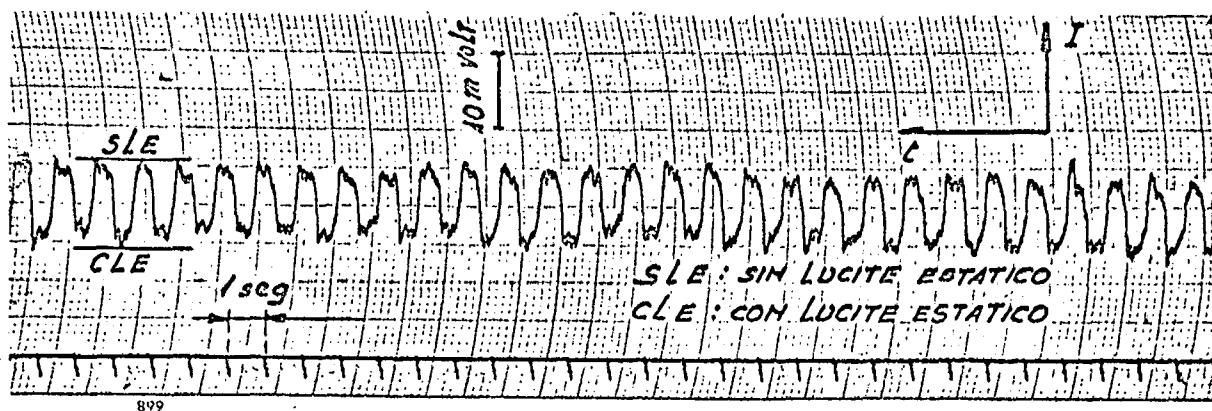


Registro transiente obtenido con un péndulo de plomo.

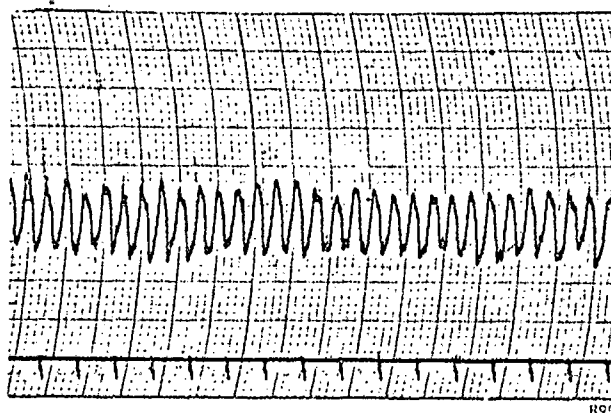


Registro transiente obtenido con una rueda dentada de lucite uno de cuyos dientes estaba cubierto por una lámina de aluminio.

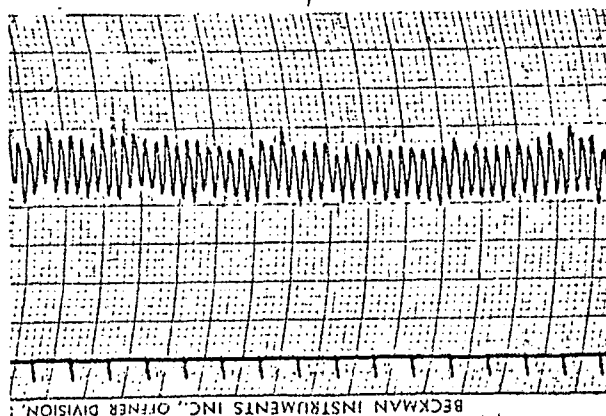
Figura No4



0,95 ciclos/seg.



1,92 ciclos/seg.



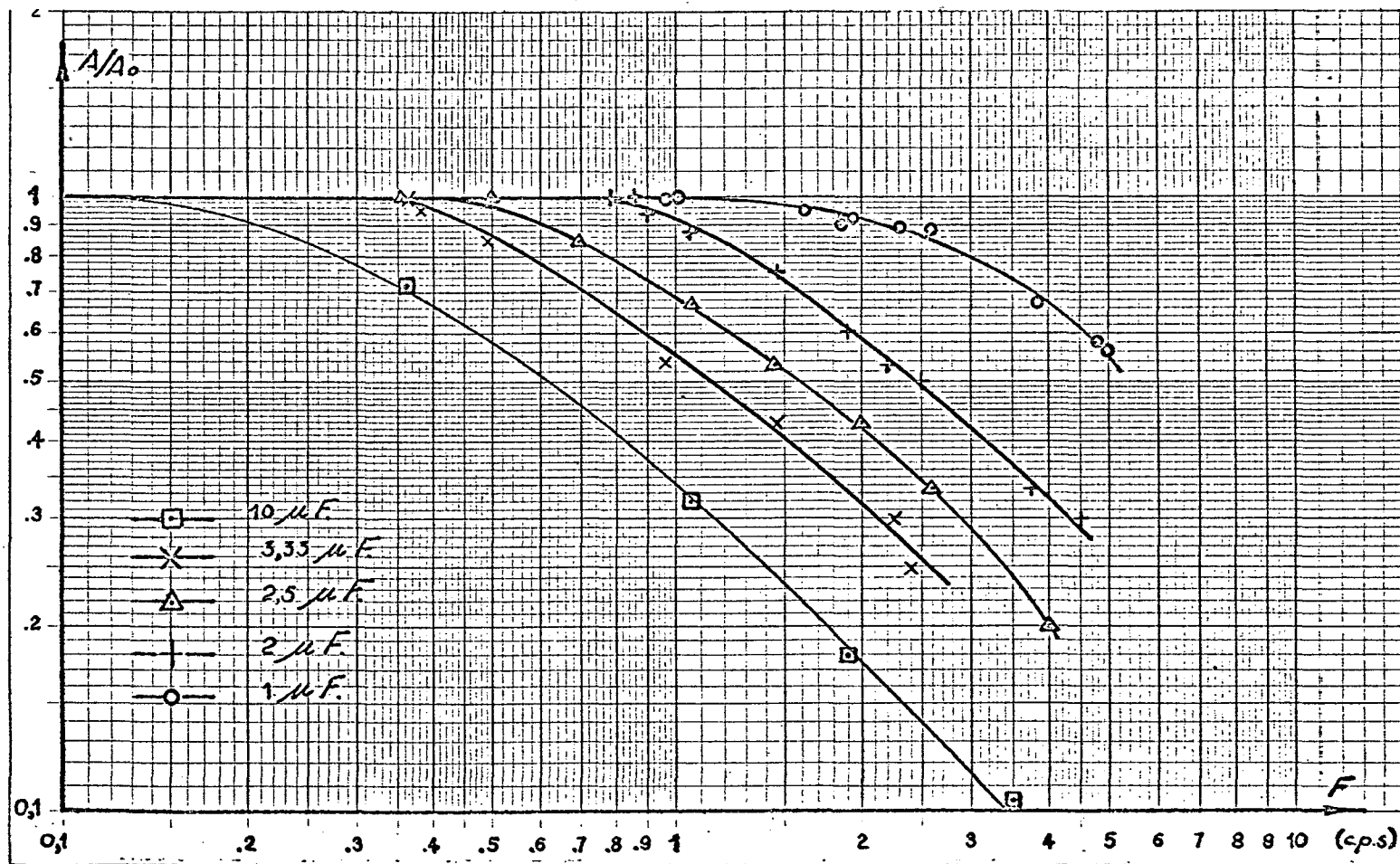
3,6 ciclos/seg.

Figura Nº 5

Registros transientes obtenidos con una rueda dentada de lucite de 2mm. de espesor.

Las frecuencias indicadas corresponden a las intersecciones de los dientes con el haz.

Filtro de 1/MF.



Respuesta en frecuencia del sistema "Curva de Amplitudes"-

Figura N° 6