



**CENTELLEOGRAFO AUTOMATICO PARA DIAGNOSTICOS
MEDICOS POR MEDIO DE ISOTOPOS RADIOATIVOS**

J. C. LEBRÓN

PUBLICAÇÃO IEA N.º 127

Novembro — 1966



INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA

Caixa Postal 11049 (Pinheiros)

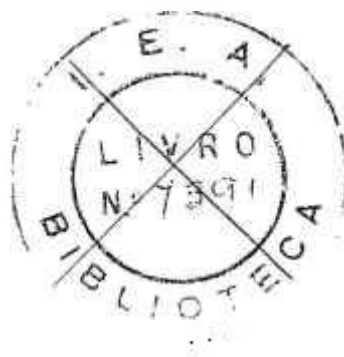
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"

SÃO PAULO — BRASIL

CENTELLEOGRAFO AUTOMATICO PARA DIAGNOSTICOS
MEDICOS POR MEDIO DE ISOTOPOS RADIOATIVOS.

J. C. Lebrón

Divisão de Radiobiologia
Instituto de Energia Atômica
São Paulo - Brasil



Publicação IEA nº 127
Novembro - 1966

Comissão Nacional de Energia Nuclear

Presidente: Prof. Uriel da Costa Ribeiro

Universidade de São Paulo

Reitor: Prof. Dr. Luiz Antonio da Gama e Silva

Instituto de Energia Atômica

Diretor: Prof. Rômulo Ribeiro Pieroni

Conselho Técnico-Científico do IEA

Prof. Dr. José Moura Gonçalves	}	pela USP
Prof. Dr. José Augusto Martins		
Prof. Dr. Rui Ribeiro Franco	}	pela CNEN
Prof. Dr. Theodoro H. I. de Arruda Souto		

Divisões Didático-Científicas

Divisão de Física Nuclear -

Chefe: Prof. Dr. Marcello D. S. Santos

Divisão de Radioquímica -

Chefe: Prof. Dr. Fausto Walter de Lima

Divisão de Radiobiologia -

Chefe: Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

Divisão de Metalurgia Nuclear -

Chefe: Prof. Dr. Tharcísio D. S. Santos

Divisão de Engenharia Química -

Chefe: Lic. Alcídio Abrão

Divisão de Engenharia Nuclear -

Chefe: Eng^o Pedro Bento de Camargo

Divisão de Operação e Manutenção de Reatores -

Chefe: Eng^o Azor Camargo Penteado Filho

Divisão de Física de Reatores -

Divisão de Ensino e Formação -

CENTELLEOGRAFO AUTOMATICO PARA DIAGNOSTICOS
MEDICOS POR MEDIO DE ISOTOPOS RADIOATIVOS.

Por J.C. Lebrón.

INTRODUCCION.

La creciente producción de radioisótopos a relativamente bajo costo y el rápido perfeccionamiento de los detectores de radiaciones, han abierto en los últimos años, un amplio campo de posibilidades en el aprovechamiento de sus propiedades radiactivas. En la industria, la agricultura, la medicina, etc., el uso de radioisótopos ha permitido solucionar eficazmente algunos problemas hasta entonces no resueltos o, en otros casos, simplificar el procedimiento, abaratar los costos y aumentar la precisión de los resultados, en relación a los obtenidos por los métodos clásicos.

En nuestro país, los primeros trabajos en el uso de los radioisótopos (excepto algunas aplicaciones terapéuticas de radio natural) comenzaron en el año 1.959, con el curso teórico-práctico dictado por el profesor brasileño Rómulo Ribeiro Pieroni en la Universidad Nacional de Asunción. El curso fué orientado específicamente hacia las aplicaciones clínicas de los radioisótopos y contó, en su aspecto práctico, con dos equipos detectores de radiación donados a la Cátedra de Física Biológica de la Facultad de Ciencias Médicas, por la Comisión Nacional de Energía Nuclear del Brasil. Posteriormente, varios egresados de nuestra Universidad, ingenieros, químicos, y principalmente médicos, tuvieron oportunidad de ampliar conocimientos en la materia, gracias a becas ofrecidas por la mencionada Comisión para Cursos realizados en la Ciudad de São Paulo.

Por todos estos antecedentes resulta fácil comprender el que la incipiente investigación en las aplicaciones de radioisótopos haya sido canalizada fundamentalmente hacia la Medicina.

Surgió, entonces, la idea de construir un centelleógrafo (ya que no se disponían fondos para la adquisición de uno importado) que proporcionara resultados similares a los ofrecidos por las firmas comerciales.

GENERALIDADES.

Los isótopos son especies atómicas que tienen igual número atómico Z , pero distinto número másico A , de manera que todos los isótopos de un mismo elemento ocupan igual lugar en la clasificación periódica y, consecuentemente, poseen idénticas propiedades químicas. Por esta circunstancia, el metabolismo de los seres vivos, no distingue cuál de los isótopos de un elemento les ha sido incorporado, siguiendo todos el mismo ciclo metabólico. Ahora bien, muchos de estos isótopos (en general artificialmente obtenidos) son nuclearmente inestables, esto es, poseen la propiedad de emitir partículas y/o radiación electromagnética, en cuyo caso se los llama radiactivos. Como estas partículas o radiaciones son detectables, resulta posible establecer la presencia de un isótopo radiactivo en un lugar o zona cuyos contornos quedarán así identificados con bastante precisión.

Luego, si un determinado isótopo radiactivo se incorpora al organismo humano, localizándose, de acuerdo a su aprovechamiento en un determinado órgano, podremos definir los contornos del mismo "explorando" por medio de un detector una cierta área donde se supone se encuentra el órgano. Como esta "exploración" se efectúa desde el exterior es necesario que el isótopo emita radiaciones o partículas que atraviesen la materia interpuesta entre el órgano y el detector. En particular, la radiación gamma (radiación electromagnética) es la más penetrante, por lo cuál, para el

trabajo que nos ocupa, se eligieron, en general, radioisótopos gamma-emisores.

FUNDAMENTO.

El centelleógrafo es el aparato que ejecuta automáticamente esta "exploración" y al mismo tiempo diseña un gráfico bidimensional de la zona explorada.

Básicamente, el procedimiento consiste en hacer que el detector recorra, con velocidad constante, líneas paralelas y equidistantes. Mecánicamente solidario al detector, un relay electromagnético, traduce en impulsos mecánicos los impulsos eléctricos del detector. A su vez cada impulso mecánico del relay imprime un breve trazo sobre el papel gracias a un papel carbónico sobrepuesto. De esta manera, la densidad superficial de los trazos inscritos resulta proporcional a la intensidad de la radiación detectada. Como consecuencia, el papel presentará áreas más oscuras correspondientes a las posiciones en que el detector "percibe" mayor intensidad de radiación o, lo que es lo mismo, a las zonas donde el radioisótopo se ha fijado en mayor concentración.

El centelleógrafo fabricado, funciona en base a estos principios generales y será descrito con detalle más adelante. Conviene aclarar, sin embargo, que opera acoplado al sistema detector anteriormente existente en el laboratorio. De este último, no haremos un análisis completo por ser un equipo totalmente importado.

No obstante, parece oportuno hacer una descripción somera del mismo para poder referirnos a él cuando tratemos del centelleógrafo propiamente dicho.

El detector y contador electrónico de marca "Phillips", consta de las siguientes unidades:

1. - Cabeza de escintilación con fotomultiplicadora y cá

todo seguidor (PW 4111)(Fig. 1 y 9 - A).

2. - Fuente de alta tensión regulable y amplificador con atenuación variable (PW 4022) (Fig. 1 - B).
3. - Escalímetro decimal (integrador electrónico) con divisor de impulsos (PW 4032) (Fig. 1 - C).
4. - Medidor de ritmo de contaje (diferenciador electrónico) con alcance de escala y constante de tiempo variables (PW 4042) (Fig. 1 . D).

La cabeza de escintilación constituye el detector propiamente dicho. En ella, un cristal de escintilación (fotosensible) de yoduro de sodio activado con talio, convenientemente blindado, produce un rápido destello luminoso por cada fotón gamma que con él interacciona. Este destello luminoso es captado por el fotocátodo de una válvula fotomultiplicadora, la cuál se encuentra ópticamente acoplada al cristal. Los electrones desprendidos del fotocátodo son multiplicados por once dinodos en la válvula fotomultiplicadora (50 AVP) y recogidos en el ánodo de la misma. A través de la resistencia de carga de dicho ánodo se produce entonces un rápido transiente de tensión, el cuál es conducido a una etapa cátodo-seguidora a los efectos de reducir el valor de la impedancia lo suficiente para que pueda transmitirse a través de conductores coaxiales, relativamente largos, hasta el amplificador.

Este amplificador posee, en su entrada, un discriminador que selecciona la altura (tensión) mínima necesaria para que los impulsos sean admitidos por el amplificador. Como la altura de los impulsos es proporcional a la energía de la radiación detectada, resulta que el discriminador permite eliminar todos aquellos impulsos correspondientes a las energías más bajas que la característica del espectro gamma del isótopo utilizado, lo cuál como veremos más adelante, resulta particularmente ventajoso para obtener un buen contraste en el gráfico.

Los impulsos así seleccionados y amplificados se registran en un integrador electrónico decimal, que proporciona la lectura directa del número total de impulsos por medio de válvulas numeradoras decádicas (E l T). Este integrador electrónico está dotado, además, de la útil posibilidad de dividir el número total de impulsos que a él ingresa por los siguientes divisores, a elección del operador: 1; 2; y 4.

Por último, la "velocidad instantánea" con que se suceden los impulsos(9), puede ser visualizada en un microamperímetro con escala calibrada en impulsos/minuto. El fondo de dicha escala puede ser seleccionado dentro de un amplio margen, como así mismo la constante de tiempo (dt) del sistema diferenciador electrónico.

DETAJES CONSTRUCTIVOS.

Si bien el principio expuesto sobre el funcionamiento del centelleógrafo es fácilmente comprensible y, aparentemente no entraña problemas graves, cuando se encara la posibilidad de su construcción con limitados recursos técnicos tanto en lo referente a los materiales disponibles como a talleres especializados, la tarea resulta ciertamente compleja. Los problemas que, dadas las condiciones locales expuestas, fué necesario resolver pueden ser resumidos en los siguientes puntos:

1) La adopción de esquemas mecánicos, eléctricos y electrónicos (la dificultad en hallarlos fué decreciendo en ese orden) realizables con los materiales que en plaza se tenía la esperanza de poder conseguir. Es evidente que como casi ninguno de estos elementos resultaba "ad hoc" para el fin deseado, los esquemas solo constituyeron esquemas de principio, que durante la construcción sufrieron modificaciones variables. Así por ejemplo, se sabía que en determinado lugar iba a ser necesario "un motor" y en aquel

(9) Llamada más comúnmente ritmo o "rata" de contaje. Siendo N el número de impulsos, t el tiempo, la "rata de contaje es: $R = \frac{dN}{dt}$

otro "un relay", pero lo que no se sabía era "qué motor" o "que relay" desempeñaría su función con un mínimo de modificaciones en su construcción original.

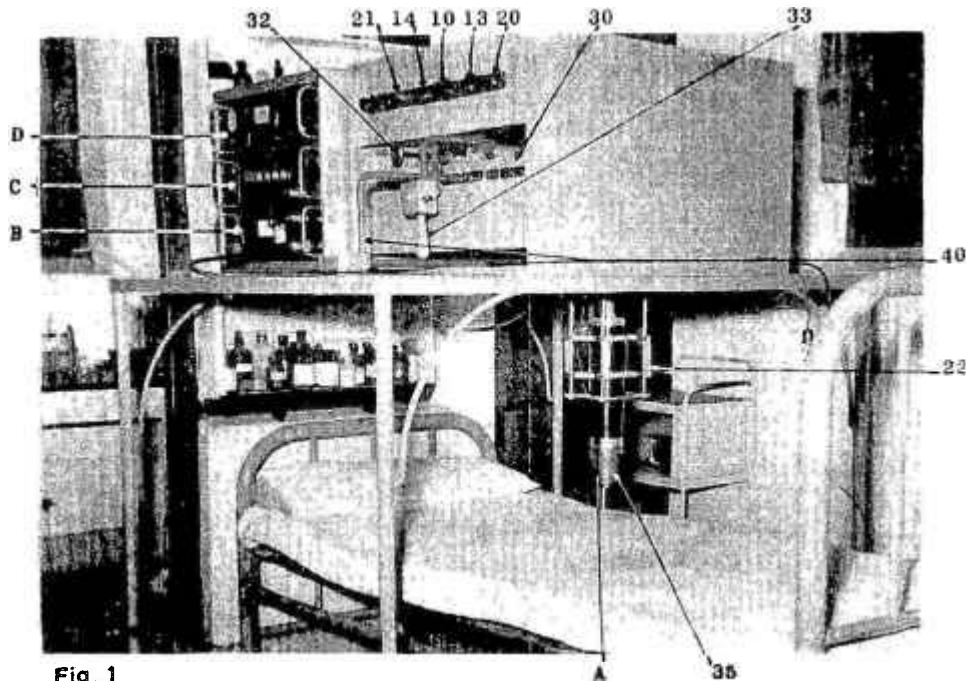


Fig. 1

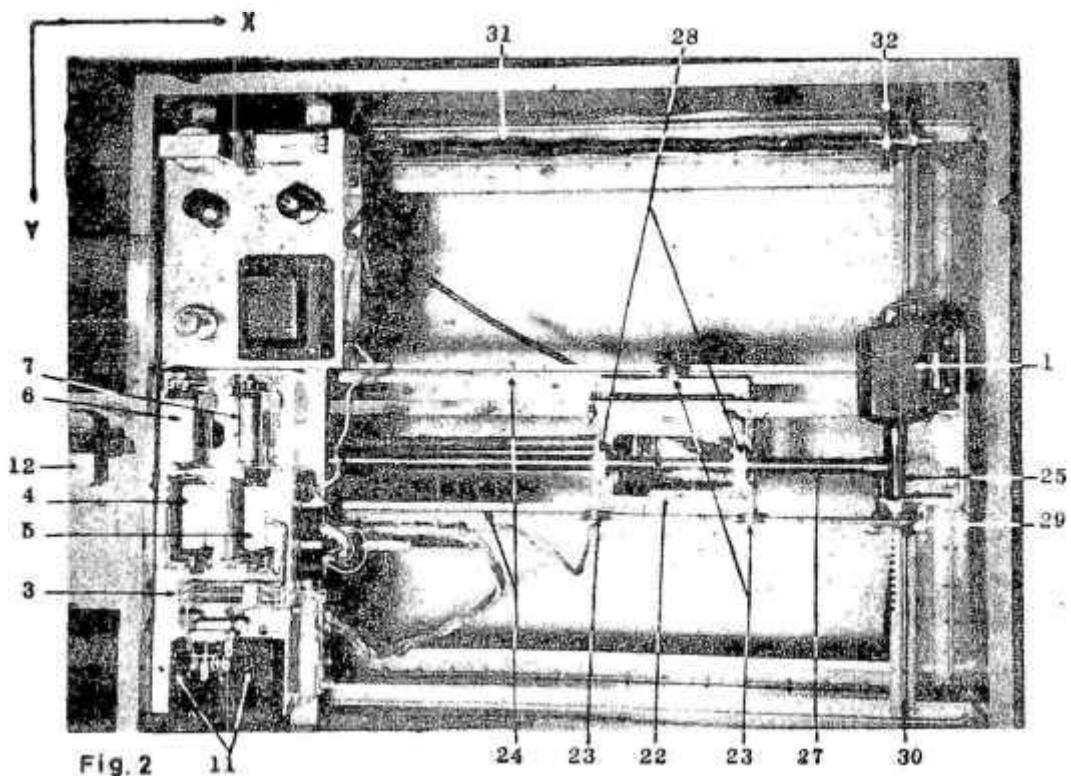
2) Por lo que antecede, resulta imposible, completar un plano definitivo con medidas y detalles constructivos bien definidos y, consiguientemente, tampoco fué viable "encargar" su fabricación a un taller comercial.

Este problema fué resuelto gracias a la amplia colaboración brindada por dos empresas oficiales autárquicas y una privada: la Administración Nacional de Electricidad (A.N.D.E.), la Administración Nacional de Telecomunicaciones (A.N.T.E.L.C.O.) y los Talleres Camihort.

En la primera y la última fué ejecutada toda la parte mecánica del proyecto. Para ello, la ANDE puso a nuestra disposición dos obreros especializados (un tornero y un mecánico ajustador) y las herramientas y máquinas de su Departamento de Talleres. Las partes que requirieron trabajos de fresado fueron ejecutadas bajo la dirección de don Fernando Sitjar en los Talleres Camihort.

De esta suerte, el trabajo se llevó a cabo pieza por pieza, bajo control personal directo, como si se tratara de un prototipo.

En primer término se armó un paralelepípedo rectangular de acero de 60 x 70 x 80 cm destinado a alojar en su interior todo el mecanismo. Este consiste esencialmente en una torre vertical (Nº 22; Fig. 1, 2 y 3) suspendida por tres ruedas acanaladas



(Nº 23; Fig. 2 y 3)(con cojinetes a bolillas) que a su vez están apoyadas en dos carriles paralelos (cuya dirección llamaremos eje X) (Nº 24; Fig. 2, 3, 4, y 6). Solidariamente a los carriles y en uno de los extremos, fué montado un motor eléctrico universal (Nº 1; Fig. 2, 4, 5 y 6) (Marca "National"), de máquina de coser cuyo eje fué prolongado en forma de engranaje sinfin para lo cual fué necesario agregar un nuevo cojinete a bolillas para evitar vibraciones (Nº 25; Fig. 2 y 6). El engranaje sinfin acciona la corona correspondiente (Nº 26; Fig. 6), reduciendo el

... relación 100 a 1, el eje de la corona
 ... longitud, paralelo
 ... 2, 3, 4 y 5). El vin-

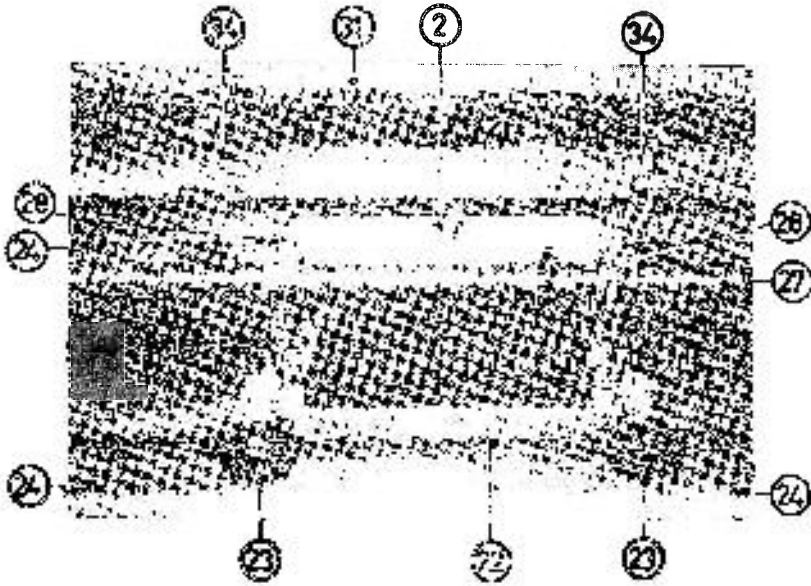


Fig. 1

Fig. 1, atraviesa dos bujes roscados solidarios de la torre (Nº 26;
 Fig. 2 y 3). De esta manera, según el sentido de rotación del mo-
 tor; la torre se desplaza en ambas direcciones del eje X en una
 longitud total de 38 cm.

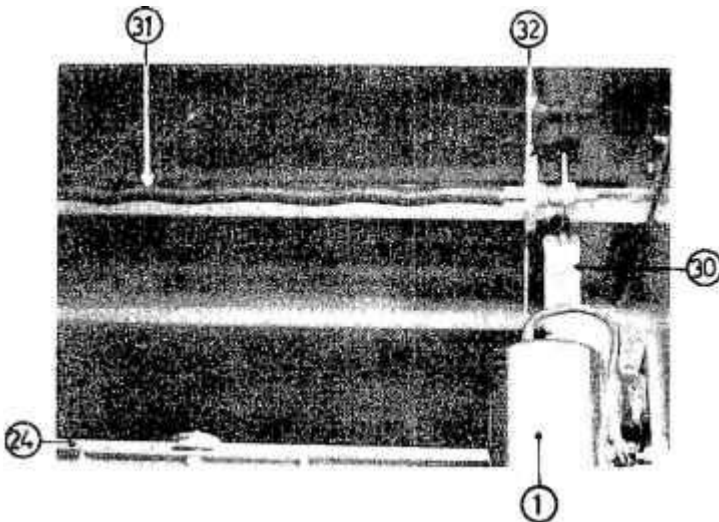


Fig. 2

Ambos carriles llevan en cada extremo sendas ruedas acanaladas (Nº 29; Fig. 2, 6 y 7) apoyadas sobre otros dos carriles (que llamaremos eje Y) (Nº 30; Fig. 1, 2, 4, 5, 6 y 7) perpendiculares a los anteriores del eje X. Así, el conjunto torre, carriles de eje X, motor y sinfines, puede avanzar en la dirección del eje Y. Este movimiento se realiza a expensas de la energía almacenada en un muelle helicoidal (Nº 31; Fig. 2, 3 y 4) largo montado sobre un eje solidario del armazón mismo. Dicho eje lleva dos poleas (Nº 32; Fig. 1, 2, 4 y 7) sobre las que se arrollan sendos hilos de nylon con sus otras extremidades sujetas a los carriles del eje X. De esta manera, cuando estos carriles sean forzados manualmente a ocupar su posición extrema en los carriles del eje Y, los hilos de nylon se desenrollan de las poleas haciéndolas girar y cargando así el muelle.

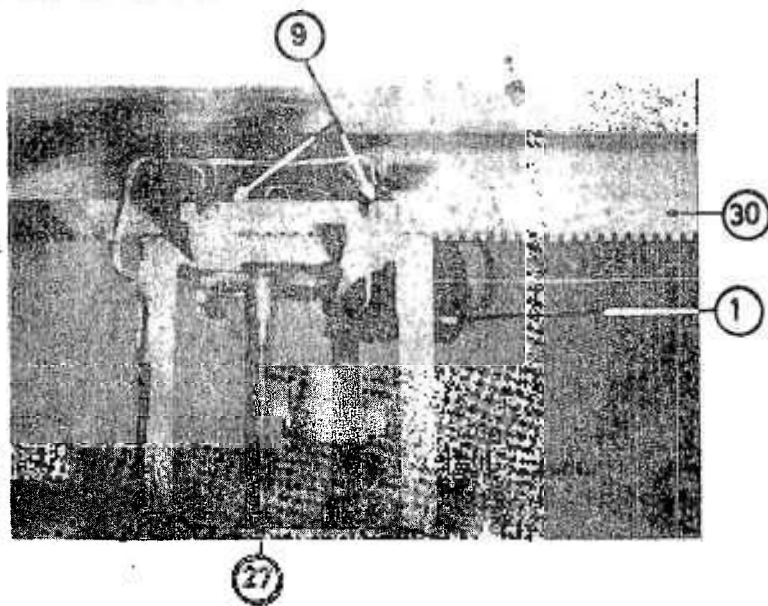


Fig. 5

Sin embargo, aunque cese la fuerza exterior que obligó al carril del eje X a cargar el muelle, no le es permitido a éste arrastrar el carril de vuelta pues los núcleos deslizantes de cuatro electroimanes (Nº 8 y 9; Fig. 5 y 7 y esquema eléctrico) fijos a los extremos de los carriles del eje X, encajan en muescas practicadas a lo largo de las bases de los carriles del eje Y (Nº 30; Fig. 2 y 5), actuando de esta manera como trabas.

Estos núcleos deslizantes se retiran cada vez y durante el tiempo que circule una corriente eléctrica a través del devanado de los electroimanes, produciéndose entonces el avance de los carriles del eje X en la dirección del eje Y.

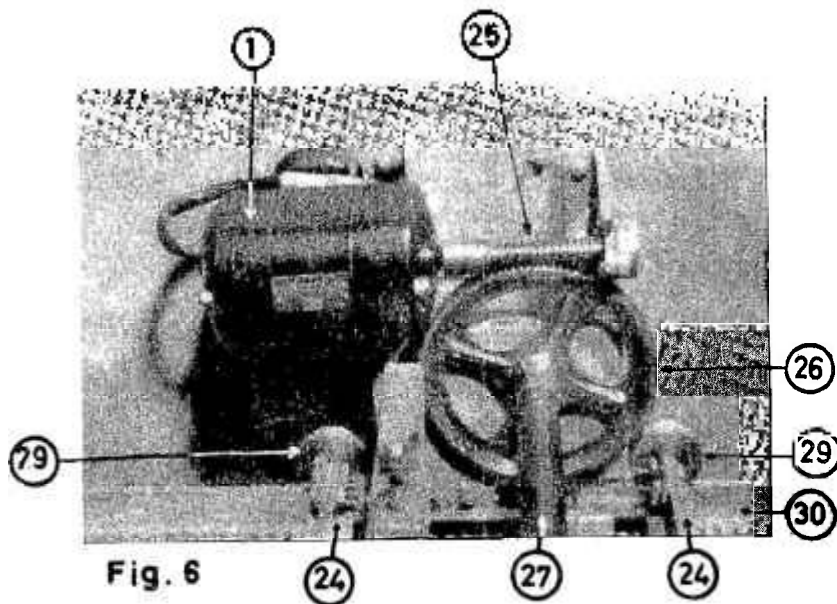


Fig. 6

La corriente eléctrica puede ser establecida de dos maneras: 1) manualmente, oprimiendo un botón (Nº 15; Fig. 7 y esquema eléctrico) fácilmente asequible fijo a una manija (Nº 33; Fig. 1, 7 y 8) solidaria de los carriles del eje X. De esta manera se obliga al operador a sujetar la manija (y con ello, los carriles del eje X) cada vez que se oprima el botón, evitando así que los carriles, totalmente libres, se desplacen bruscamente bajo la acción del muelle hasta el final de la carrera; 2) automáticamente, cada vez que la torre llegue a ciertos límites de carrera preestablecidos (Nº 34 y 34'; Fig. 2 y 3). En este caso la corriente eléctrica es establecida por solo breves instantes, permitiendo el avance de un diente (o de una muesca) de los carriles del eje Y.

Este avance automático hace que la torre se desplace 4 mm cada vez en la dirección del eje Y. Esta magnitud del avance es en medio milímetro mayor que el ancho de la punta percutora del relay inscriptor (Nº 12 Fig. 1, 2 y 8) y esquema eléctrico) de mane

ra que las inscripciones correspondientes a dos líneas consecutivas del eje X, no se superpongan.

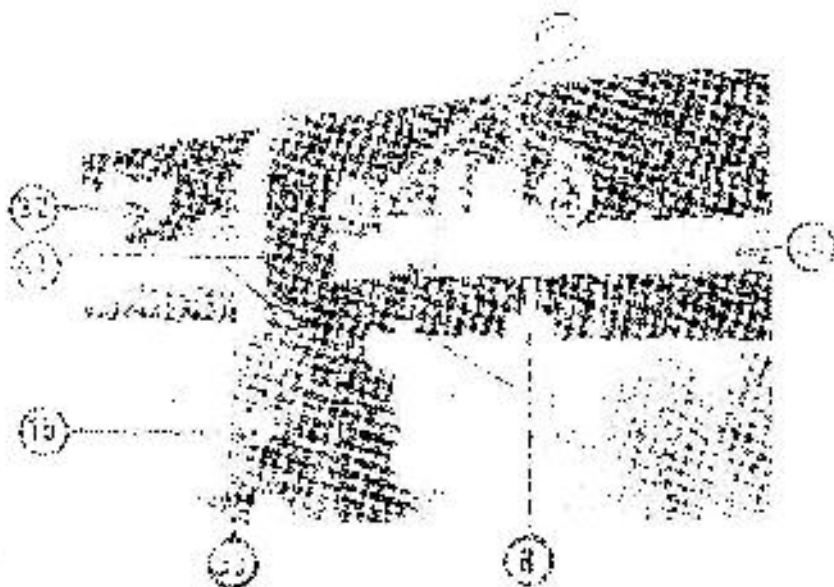


Fig. 7

El avance máximo en la dirección del eje Y es de 40 cm. Así, el área total posible de explorar es de 38 x 40 cm. Lógicamente, el gráfico obtenido tendrá las mismas dimensiones máximas.

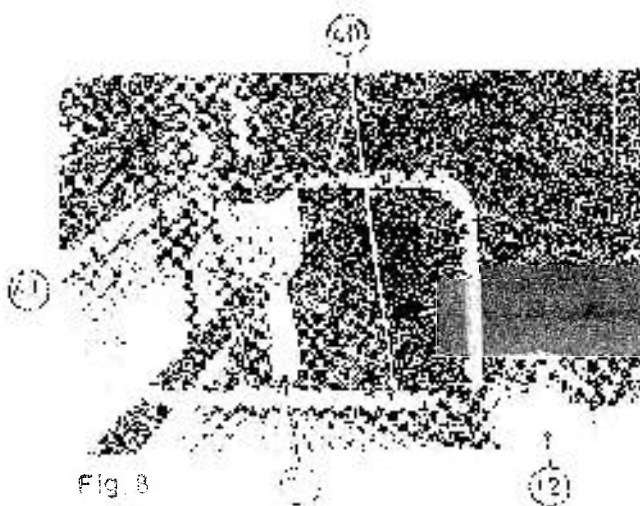


Fig. 8

Finalmente, el tercer eje del movimiento (el eje Z), corresponde a la posibilidad de ajustar la altura de cabeza de escintilación (A - Fig. 1 y 9) sobre la región a explorar del paciente acostado. Luego, mientras los ejes X e Y son horizontales, el eje Z es vertical y está materializado por la torre.

La cabeza de escintilación (que con el colimador de plomo N° 35; Fig. 1 pesa unos 6 Kg.) está soportada por dos abrazaderas, las cuales a su vez están soldadas a cuatro bujes cada una (N° 36; Fig. 9), que deslizan en cuatro varillas verticales paralelas (N° 37; Fig. 9). Este movimiento es ejecutado por un motor asíncrono reversible (de un receptor de teletipo) (N° 17; Fig. 9 y esquema eléctrico) por medio de una llave adecuada. El eje del motor está acoplado a un reductor mecánico, cuya salida va provista de un engranaje (N° 38; Fig. 9) que transmite el movimiento a una cremallera vertical (N° 39; Fig. 9), solidaria de la cabeza de escintilación. El sistema permite un movimiento vertical máximo de 18 cm, a una velocidad de aproximadamente 1 cm/s.

El eje del motor trabaja levemente frenado por un sistema de fricción, con el fin de mantener la cabeza de escintilación fija en la posición elegida, contra su tendencia a descender debido a su propio peso.

Resumiendo, el sistema mecánico ejecuta tres movimientos ortogonales en el espacio:

1. - El movimiento horizontal según el eje X. Este movimiento se realiza a velocidad constante en ambos sentidos de dicho eje. El cambio de sentido se opera automáticamente al llegar la torre a ciertos límites de carrera preestablecidos.

La velocidad de desplazamiento es regulable en 5 pasos, desde una mínima de 1 cm/s hasta la máxima de 5 cm/s.

2. - El movimiento horizontal según el eje Y. Puede ser realizado manualmente en ambos sentidos o automáticamente en un sentido, en cuyo caso produce un avance de 4 mm del detector cada vez que éste llega al final de su carrera sobre el eje X.

3. - El movimiento vertical según el eje Z. Permite ajustar

tar eléctricamente la altura conveniente. La cabeza de escintilación. Se realiza a la velocidad constante de 1 cm/s.

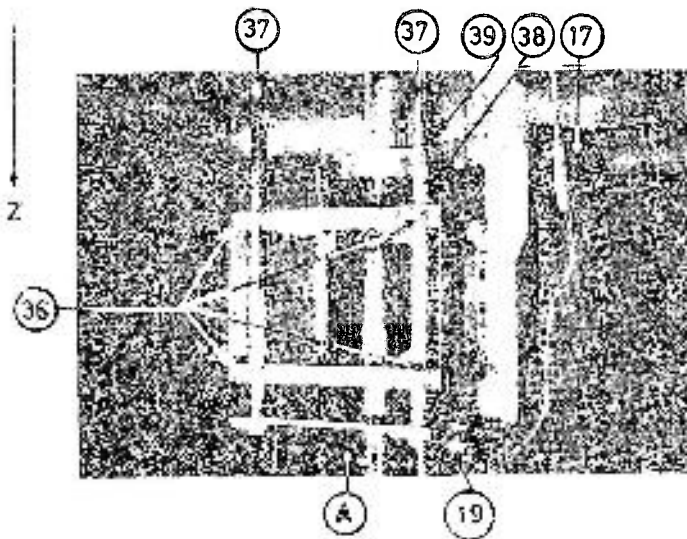


Fig. 9

El relay inscriptor (Nº 12; Fig. 1 y 4), ejecuta todos los movimientos de la torre, a la cual es solidario por medio de las barras (Nº 40; Fig. 1 y 8), las que, para mayor rigidez, se hallan soportadas por dos poleas sobre cojinetes a bolillas (Nº 41; Fig. 7 y 8) que acompañan a las barras en el movimiento según el eje Y pero no según el eje X.

El montaje eléctrico fué ejecutado en el Instituto de Telecomunicaciones, que proporcionó amplia colaboración, tanto en materiales, como en técnicos para llevar a cabo las modificaciones y adaptaciones requeridas.

El esquema eléctrico finalmente realizado, es el dado a continuación.

El interruptor (Nº 2, Fig. 3 y esquema eléctrico) de fin de carrera en la dirección del eje X comanda el relay (Nº 3; Fig. 3 y 5 y esquema eléctrico) provisto de tres juegos de contactos: dos para producir la inversión del motor universal (Nº 1; Fig. 2, 4, 6 y esquema eléctrico) que efectúa el desplazamiento en la dirección del eje X; el tercer juego de contactos selecciona el grupo de relays pulsadores (Nº 4 y 5; Fig. 9 y 10 y esquema eléctrico) ó (Nº 6 y 7; Fig. 2 y 10 y esquema eléctrico) que ha de actuar en cada

fin de carrera (anterior y posterior, respectivamente). Así, por ejemplo, cuando la torre llega al límite de carrera anterior (Nº 34; Fig. 3), el relay (Nº 3; Fig. 2 y 10 y esquema eléctrico) establece la corriente para los relay (Nº 4 y 5; Fig. 2 y 10 y esquema eléctrico) cuyos devanados están conectados en serie, hasta que el relay Nº 4 pone en cortocircuito el devanado del relay Nº 5, con lo cual este último vuelve a su posición de reposo. Sin embargo, habiéndose elegido una constante de tiempo de operación mayor para el relay Nº 4, ocurre que el relay Nº 5, permanece excitado un corto tiempo (0,5 s. aproximadamente), durante el cuál queda establecida la corriente para los relays de núcleo deslizante (Nº 8; Fig. 7 y esquema eléctrico) que permiten el avance en la dirección del eje Y.

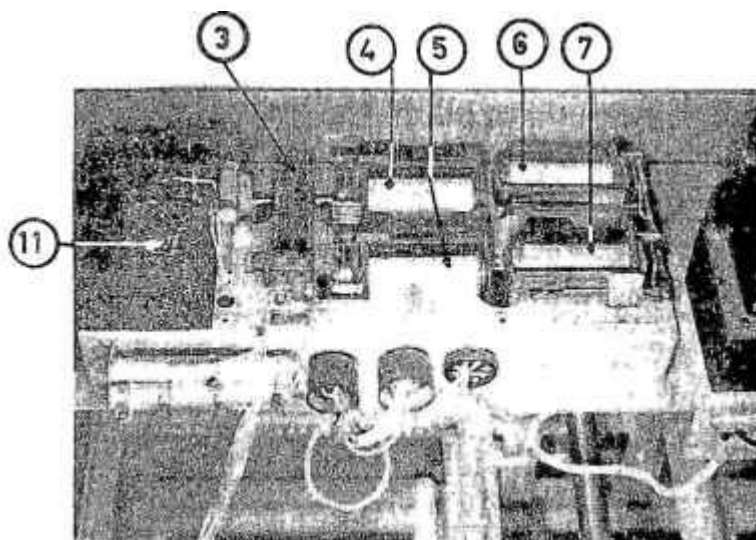


Fig. 10

La razón para que la corriente sea establecida sólo por breve tiempo sobre los relays (Nº 8) estriba en que la intensidad ha de ser superior a la admisible para su funcionamiento continuo dadas las reducidas dimensiones impuestas por el espacio disponible y, a la vez, la enérgica tracción que deben ejercer los núcleos deslizantes.

Todo lo dicho con respecto a los relays Nº 4 y 5 y 8 se aplica igualmente a los Nº 6 y 7; (Fig. 2 y 10) y Nº 9; (Fig. 5

y esquema eléctrico), pero para el límite de carrera posterior (Nº 34'; Fig. 3) en la dirección del eje X.

Para realizar manualmente el movimiento según el eje Y, es necesario operar el interruptor (Nº 15; Fig. 7 y esquema eléctrico), que proporciona corriente simultáneamente a los relays (Nº 8 y 9).

Sin embargo, la intensidad de esta corriente, por estar aplicada directamente un tiempo relativamente largo, ha de ser menor que la correspondiente al pulso automático. Para ello se dispone la resistencia (Nº 16 esquema eléctrico) en serie con los relays Nº 8 y 9 con lo cual, ciertamente, también queda disminuida la fuerza de tracción que los núcleos deslizantes son capaces de ejercer. Pero debe tenerse en cuenta que, estando el interruptor Nº 15 ubicado sobre la misma manija (Nº 33; Fig. 7 y 8) de retracción del avance en el sentido del eje Y, la fuerza ejercida por el operador, libera a los núcleos deslizantes del rozamiento contra los carriles dentados (Nº 30; Fig. 1, 2, 4, 5, 6 y 7) del eje Y ocasionado por la tensión del muelle helicoidal (Nº 31; Fig. 2, 3 y 4).

Simultáneamente, al operar el interruptor Nº 15 un par de contactos desconectan el relay inscriptor (Nº 12; Fig. 1, 2 y 8 y esquema eléctrico), a fin de que un eventual impulso en dicho relay, coincidente con la retracción manual en la dirección del eje Y, no rasgue el papel inscrito.

Los relays de comando Nº 3, pulsadores Nº 4, 5, 6 y 7 e inscriptor Nº 12 son alimentados por una fuente de corriente continua, que proporciona unos 80 V - 1 A, en base a la rectificación de onda completa por medio de rectificadores de silicio (Nº 11; Fig. 2 y 3 y esquema eléctrico).

Los relays Nº 8 y 9 están alimentados con corriente alterna (220 V en el caso de pulso automático y 70 V en el caso de operación manual).

Para el ajuste de la altura de la cabeza de escintilación (eje Z) se dispone del motor asíncrono reversible (Nº 17 ; Fig. 9 y esquema eléctrico) accionado por el interruptor de tres posiciones (Nº 20; Fig. 1 y esquema eléctrico).

- 1 - Posición central: motor en reposo.
- 2 - Posición superior: el motor gira en el sentido adecuado para subir la cabeza de escintilación.
- 3 - Posición inferior: el motor gira en sentido opuesto y la cabeza desciende.

Dos juegos de contactos en la llave, ejecutan estas operaciones.

El sistema cuenta, además, con un dispositivo de seguridad que desconecta el motor automáticamente cuando la cabeza de escintilación llega (ocasionalmente) a los límites superior o inferior de su carrera.

Este dispositivo está constituido por dos contactos del tipo pulsador (Nº 18; esquema eléctrico y Nº 19; Fig. 9 y esquema eléctrico) y dos pares de contactos en la llave Nº 20.

El conexionado es tal que, cuando la cabeza de escintilación llega, por ejemplo, al límite de la carrera ascendente , oprime el pulsador Nº 18, desconectando el motor en su sentido de giro ascendente, pero, vuelve a ser conectado con sólo colocar el interruptor Nº 20 en la posición de descender. Análogamente, el pulsador Nº 19 sólo desconecta el motor cuando gira en el sentido correspondiente a la carrera descendente.

Además de los descritos, el operador dispone de los siguientes controles:

- 1 - Un interruptor general bipolar (Nº 21; Fig. 1 y esquema eléctrico) a la entrada de la red.
- 2 - Un interruptor de seis posiciones (Nº 10; Fig. 1 y

esquema eléctrico) para la puesta en marcha y regulación de velocidad del motor de desplazamiento en la dirección del eje X.

3 - Un interruptor (Nº 14; Fig. 1 y esquema eléctrico) para conectar o desconectar el avance automático en la dirección del eje Y. Estando esta llave desconectada, la torre ejecuta el desplazamiento en ambos sentidos del eje X, pero sin avanzar en la dirección Y. Esta disposición es particularmente conveniente cuando, al comenzar un trazado, es necesario centrar la carrera en la dirección X, con respecto a la zona a explorar y poder ajustar así los límites de carrera (Nº 34 y 34').

4 - Un interruptor (Nº 13; Fig. 1 y sistema eléctrico) para desconectar el relay inscriptor Nº 12. Como en el caso del interruptor Nº 14 visto en el ítem 3º es conveniente que, mientras se ajustan los límites de carrera y se centra el papel, el relay inscriptor está desconectado, pues cualquier eventual impulso podría producir un trazo inadecuado en el papel.

En la ejecución del relay inscriptor se ha tenido especial cuidado en que la masa móvil (núcleo deslizante) sea la menor posible, a los efectos de obtener rapidez de operación adecuada. Con el mismo objeto, el buje que sirve de guía al núcleo deslizante, fué construido de fibra dura, no conductora, pues de ser metálico, trabajaría como anillo cortocircuito con el consiguiente retardo en la respuesta del relay.

EL CIRCUITO ELECTRONICO

Los impulsos obtenidos de las válvulas decádicas del "scaler", tienen una duración muy pequeña (1 microsegundo aproximadamente) para que sean aplicables directamente a un relay. Se hace

necesario por lo tanto, el empleo de un sistema electrónico expansor de dichos impulsos.

Dicho sistema electrónico consta fundamentalmente de un monovibrador (válvula 6AC7) que recibe los impulsos directamente del "scaler". Una llave de dos posiciones intercalada en la entrada de los impulsos los selecciona ya sea de la válvula decádica de las decenas o de la válvula decádica de las centenas del "scaler". De esta manera, del número total de impulsos captados por el detector llegan al monovibrador solamente un décimo o un centésimo de ellos. Estos impulsos excitan el monovibrador cuya constante de tiempo de aproximadamente 500 microsegundos permite obtener a la salida un impulso de forma rectangular, que es enviado a la rejilla de mando de una válvula 6V6 que trabaja como generador de corriente. Dispuesto en el ánodo de dicha válvula se encuentra un relay intermediario que es el que comandará el relay inscriptor. El potencial negativo de polarización de rejilla del pentodo 6V6 se encuentra muy próximo a su valor de corte, de manera que dicho pentodo demanda corriente casi nula a través del ánodo cuando el monivibrador no le envía ninguna señal. Sin embargo cuando esta existe, la rejilla de mando de la válvula 6V6 se encuentra con un potencial de polarización prácticamente igual a cero y por lo tanto conduce fuertemente excitando así el relay intermediario.

La constante de tiempo del monovibrador de 500 microsegundos ha sido elegida lo suficientemente larga para que el relay intermediario tenga tiempo de actuar enérgicamente, pero, por otra parte, lo suficientemente corta para que la duración de ese pulso sea menor a la rapidez de operación del relay intermediario.

El equipo electrónico se halla provisto de su propia fuente de alimentación, esto es, un transformador de poder con una válvula rectificadora tipo doble diodo (5Y3) que a través de un sistema de filtros, condensador-autoinducción, proporciona la corriente anódica para las demás válvulas.

DISCUSIÓN DEL CENTELLEOGRAMA

Como todo resultado obtenido experimentalmente, la imagen proporcionada por el centelleógrafo adolece de imperfecciones que la hacen distinta del objeto estudiado. Resulta pues, necesario evaluar estas imperfecciones, para que el médico pueda interpretar los resultados y, sobre todo, conozca las limitaciones inherentes al centelleograma.

En primer lugar, hay que tener en cuenta, que el centelleograma es una imagen bidimensional equivalente de un objeto tridimensional, de manera que la forma y ubicación real, en el espacio de dicho objeto solo puede ser conocida a través de dos o más gráficos en distintos planos. Sin embargo, esto no es generalmente necesario pues el objeto estudiado es aproximadamente conocido de antemano por el médico.

Además, hay que considerar que la imagen plana equivalente, no es trazada como una simple proyección geométrica, puesto que la "densidad superficial" (número de trazos por unidad de superficie del gráfico) da idea del espesor del objeto ya que ella resulta proporcional a la "actividad superficial" del objeto.

Así resulta: $D = K \cdot A_s / v$, donde D es la densidad superficial del gráfico; A_s es actividad superficial del gráfico; K es un coeficiente que depende de la eficiencia del detector para condiciones geométricas y colimador determinado; v es la velocidad uniforme de desplazamiento (eje X) del detector e inscriptor.

Sin embargo, la proporcionalidad entre D y A_s no es válida para los extremos siguiente:

1) para valores de A_s tan elevados que los trazos se superpongan parcialmente en el papel, en cuyo caso se tiene la "densidad de saturación" y un aumento de A_s no se traduce en un apreciable ennegrecimiento del gráfico.

Es claro que es posible extender la proporcionalidad entre D y A_s , para valores más elevados de A_s , aumentando la veloci

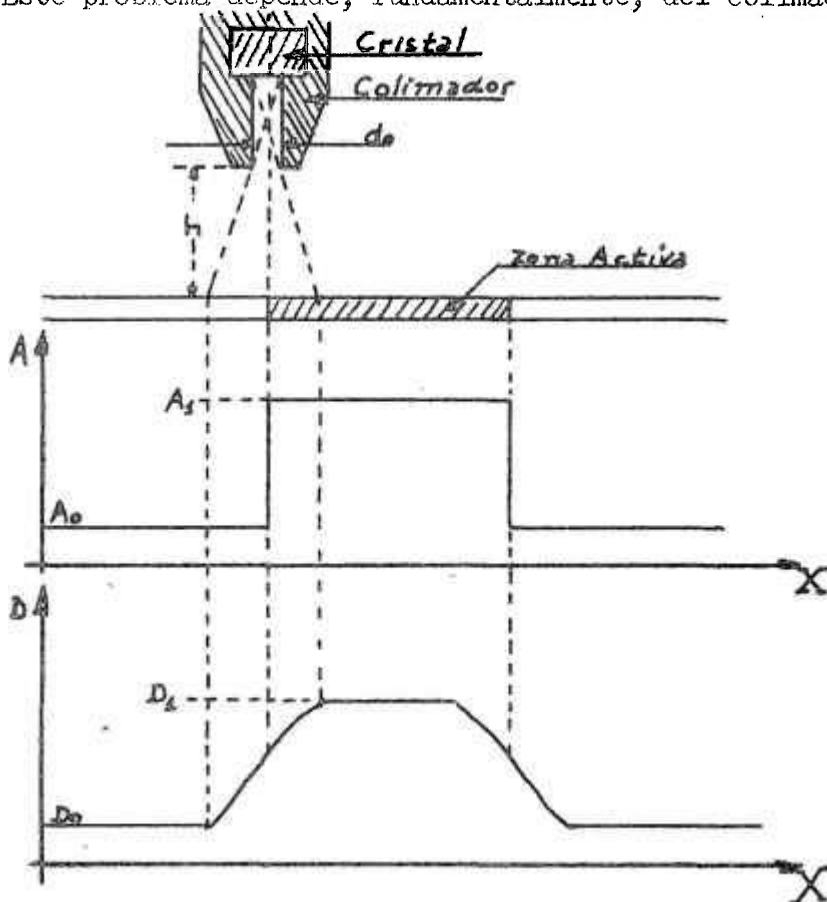
dad v del desplazamiento, pero esta posibilidad acarrea otros inconvenientes que serán considerados más adelante. En todo caso, existe siempre un límite superior absoluto en esta proporcionalidad, que está determinado por la rapidez de operación del relay inscriptor.

2) para valores de A_s demasiado bajos, en cuyo caso la radiación de fondo (back ground) inevitable, resulta apreciable frente a dichos valores.

O sea que, para: $A_s \Rightarrow 0$; $D \Rightarrow B.G.$

Por otra parte, cuando la actividad superficial tiene una brusca transición, esto es, cambia apreciablemente de valor en poca longitud, la densidad del gráfico no varía con la misma rapidez, lo que acarrea una imprecisión en la definición de los contornos de la imagen.

Este problema depende, fundamentalmente, del colimador.



Como puede verse en la figura, para un cambio brusco de la actividad superficial de A_0 a A_1 , la densidad del gráfico pasa, progresivamente de D_0 a D_1 , dependiendo del ángulo sólido en el cual el detector "ve" la fuente.

Este ángulo, a su vez, es función del diámetro d_0 del diafragma del colimador y de la altura h a que se efectúa la exploración.

Así, la imagen estará tanto mejor definida cuanto menor sea h y d_0 .

Sin embargo, tanto h como d_0 tienen un valor mínimo permitido.

En el caso de h , este mínimo está determinado por la profundidad a que se encuentra en el organismo la parte estudiada más algunos milímetros necesarios para que el colimador no roce la superficie de la piel. En el caso de tiroides, por ejemplo, h resulta aproximadamente del orden de 4 cm.

El problema de d_0 mínimo, es un tanto más complejo, pues al disminuir d_0 disminuye también la eficiencia del detector (coeficiente K) y, consecuentemente D . Se podría compensar esta disminución de D disminuyendo la velocidad v de desplazamiento, pero esto sólo es posible hasta cierto punto, pues, como ya se dijo, esto lleva a la saturación de la densidad superficial del gráfico. Además, para valores muy bajos de v la duración total del mapeo resulta excesiva y fatiga al paciente.

Desde luego que aumentando la dosis suministrada al paciente, es posible aumentar A para poder reducir d_0 , pero también es obvio que dicha dosis tiene un máximo permisible por consideraciones biológicas.

Por otra parte, cuando reduciendo d_0 se reduce K y, consecuentemente D , su valor puede resultar tan bajo, que el contras

te con el back ground sea insuficiente para dar un gráfico aprovechable.

Además, para valores de d_0 muy reducidos, el tiempo durante el cual el detector "ve" un determinado punto del objeto es también muy pequeño (para valores aceptables de v). Consecuente - mente, los errores estadísticos pueden ser tan elevados que empeoren la definición de los contornos, pues, por ejemplo, puntos de igual actividad superficial, detectados durante un tiempo muy breve, pueden dar un número de trazos muy diferentes.

De todo lo expuesto se desprende que las condiciones óptimas de contraste, definición del contorno (resolución) y ennegrecimiento de la imagen, exigen, en cada caso, la elección de los valores adecuados para cada variable, teniendo siempre en cuenta las interdependencias entre estas.

Por lo tanto, se hace necesario establecer un procedimiento general que conduzca al médico a la correcta y rápida determinación de estas variables. Este procedimiento, expresado en forma práctica, se halla contenido en los siguientes puntos:

1. - Ubíquese al paciente de manera que la región a ser explorada se halle comprendida dentro de los límites de movilidad posibles para el detector (ejes X e Y) y aproxímese éste lo más posible al paciente (eje Z);

2. - Determinése a través de la lectura del "rate meter" y por desplazamientos manuales del detector el punto de máxima captación;

3. - Estando el detector en este punto auméntese la atenuación hasta que se observe una brusca disminución del ritmo de contaje. Entonces retórnese el atenuador a un punto anterior. Para el I-131, por ejemplo, esta posición corresponde a la atenuación 10 x 2.

4. - Elíjase el factor de multiplicación del "scaler" de tal manera que, estando siempre el detector en el punto de máxima captación el "rate meter" indique una lectura máxima de 6.000 a 7.000 cuentas por minuto, si el divisor del centelleógrafo está en posición 10 o, 60.000 a 70.000 cuentas por minuto, si el mismo divisor está en posición 100.

5. - Retírese el detector de su posición de máxima captación y lívézelo a la de mínima (back ground). En esta posición, la lectura del "rate meter" debe ser para un buen contraste, aproximadamente 0,1 de la lectura máxima. En todo caso, es conveniente que esta relación sea la menor posible. Para ello se repiten las lecturas máximas y mínimas, variando el atenuador un punto por encima o por debajo del valor ya indicado.

Así mismo, es posible variar, (dentro de ± 5 o/o) el valor de la alta tensión con la misma finalidad. Es claro que, luego de estas operaciones será necesario corregir el factor de multiplicación del "scaler" para que el "rate meter" arroje la lectura máxima primitiva (6.000 - 7.000 ó 60.000 - 70.000).

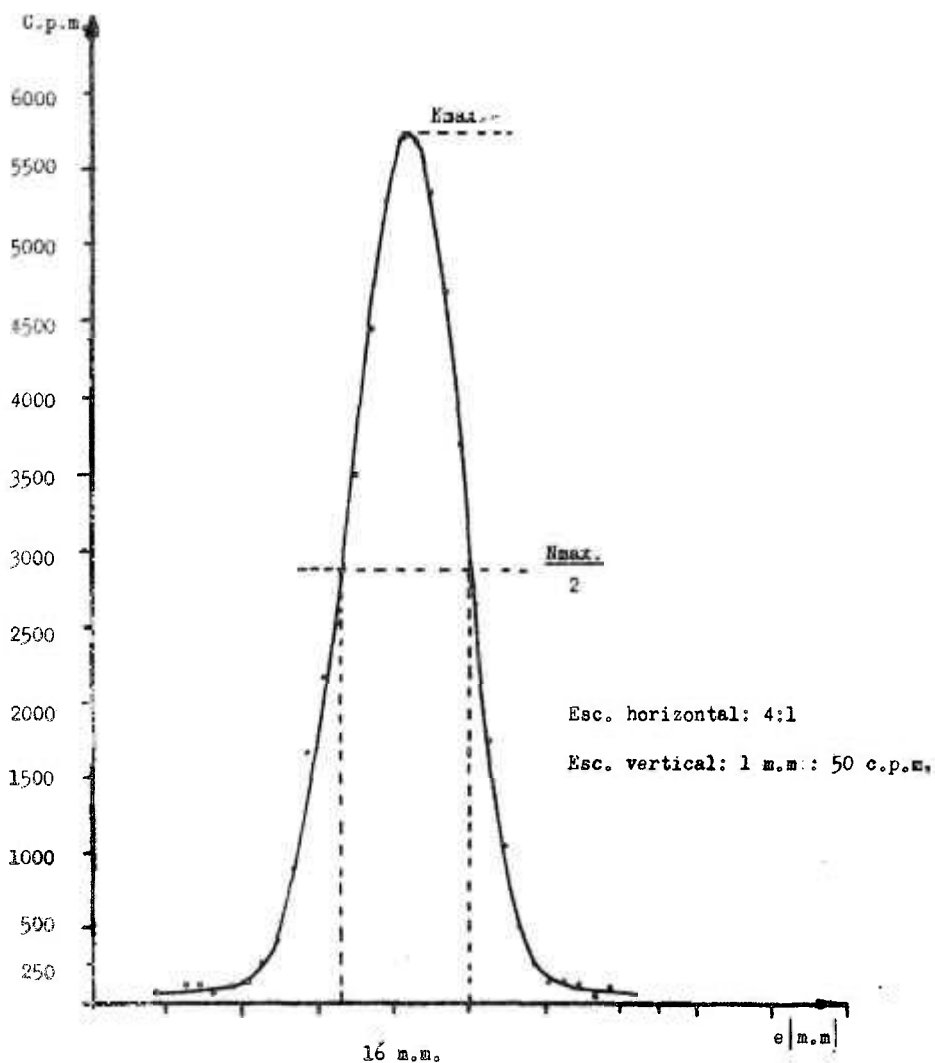
6. - Para esta lectura máxima, es necesario elegir la velocidad del desplazamiento del eje X, de manera que dos trazos consecutivos no se superpongan, pero que estén adyacentes. Para 600 a 700 pulsos en el relay inscriptor, esta velocidad es la "3".

Si la dosis suministrada al paciente (o su porcentaje de captación) es insuficiente para que sea alcanzado el máximo indicado, será necesario escoger una velocidad menor de desplazamiento.

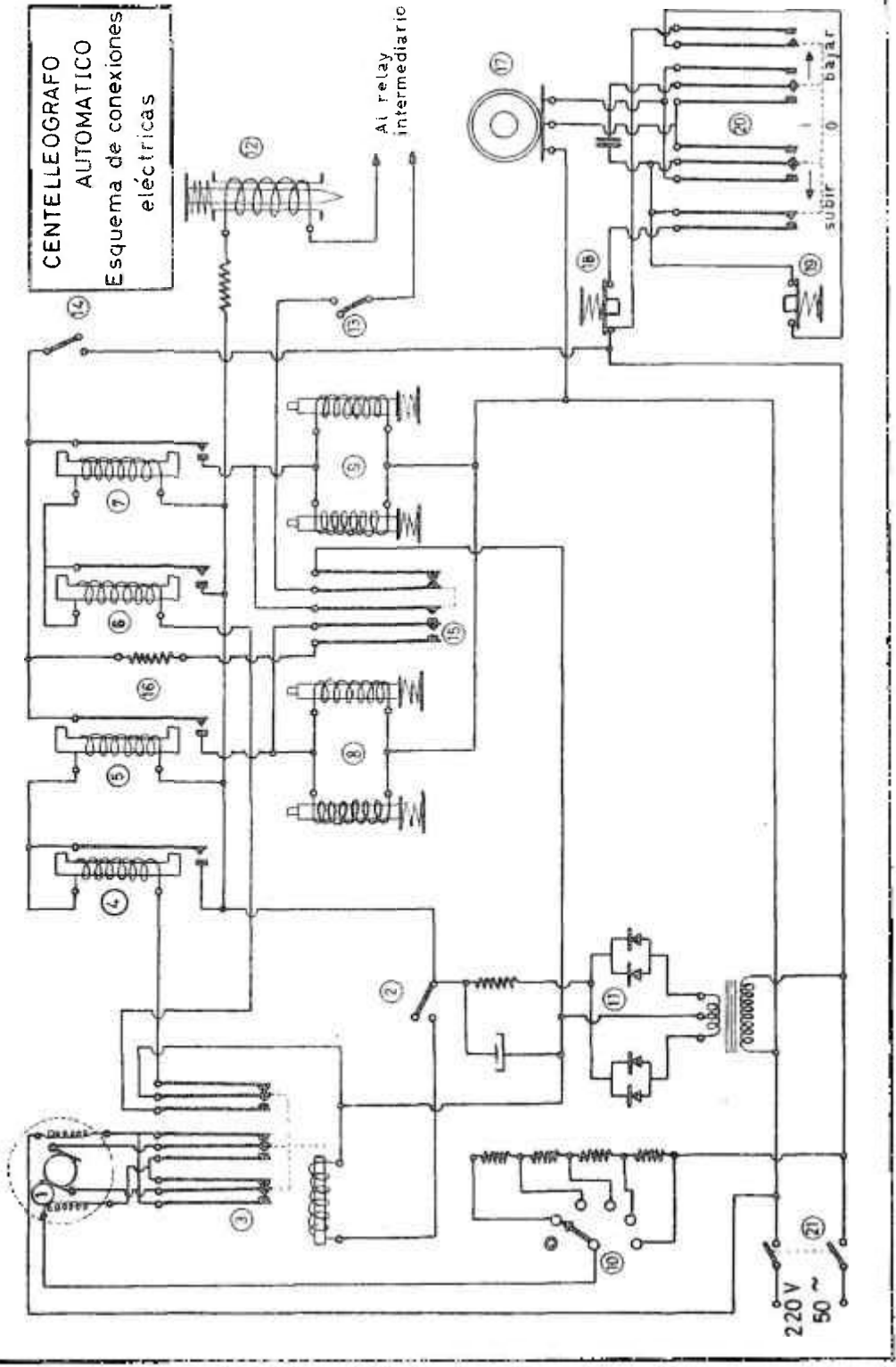
7. - Establézcase la amplitud necesaria para el desplazamiento en el sentido del eje X, de manera a cubrir holgadamente la zona a explorar y fíjense los límites de carrera. Lívése el detector al inicio de la zona a explorar. Comiéncese el trabajo no olvidando conectar el avance automático (eje Y) y el relay inscriptor.

Finalmente, como referencia para el médico, proporcionamos un gráfico de la resolución del aparato para una muestra de 30 microcuries de I-131. El diámetro de la muestra es de 19 mm. La distancia de la punta del colimador a la muestra fué de 6 cm. Con estos datos fueron obtenidos la curva de Gauss dada a continuación y el centelleograma de la muestra que se adjunta.

Fuente I^{131} - 30 $\varnothing = 19$ m.m

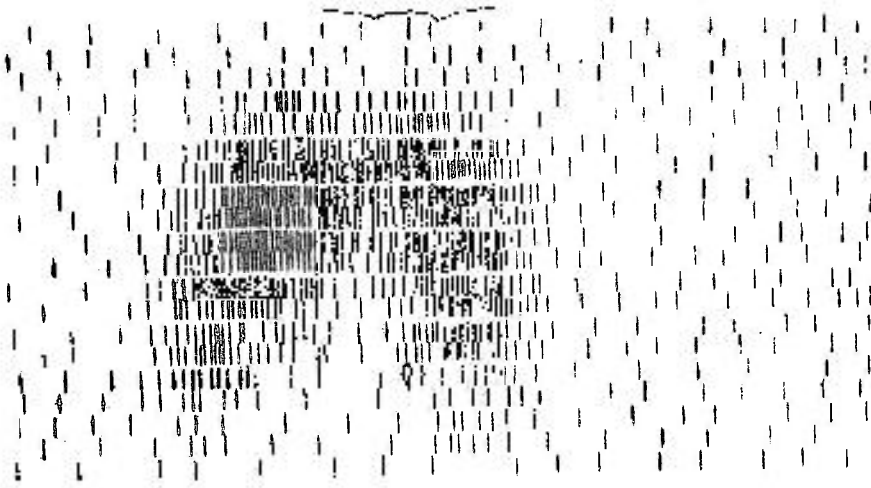


**CENTELEOGRAFO
AUTOMATICO**
Esquema de conexiones
eléctricas



[Handwritten signature]

1911-1-14



I

D

No. *[Handwritten]* Sr. *[Handwritten]* Indicación Dr. *[Handwritten]*

José Luis Marín de las

No. *J. Marín de las H*
Indicación Sr. *González Bolaños* Servicio

[Faint, mostly illegible text on a grid background]

D

Fecha *31-1-62*

[Handwritten signature]

Nº Sr. *Quintiliano Espinola* Servicio

Indicación Dr.

D

Fecha *31/1/62*

Dr. *[Signature]*