

25 años

00.81.13 (p. 25-32)
 07.81.02 (p. 33-39)
 06.81.23 (p. 41-45)
 06.81.24 (p. 47-50)
 00.81.14 (p. 51-55)
 02.81.06 (p. 57-63)
 02.81.07 (p. 67-74)

ACTAS de las Jornadas
 Conmemorativas de los 25
 años del Sincrociclotrón y
 del Comienzo de las Obras
 para el Emplazamiento del
 Acelerador TANDAR

Diciembre 1979

00.81.15 (p. 75-85)
 02.81.08 (p. 87-93)
 02.81.09 (p. 95-101)

RG

061.3: 621.384.6(82)

J 769

1979

COMISION NACIONAL
 DE
 ENERGIA ATOMICA
 DEPARTAMENTO
 DE FISICA
 BUENOS AIRES
 ARGENTINA

02.81.07

MODIFICACIONES Y MEJORAS EN FISICA NUCLEAR

Jise

Dr. Moisés J. Sametband

El Dr. Sametband es egresado de la Universidad de La Plata. Fue profesor asociado de física en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Buenos Aires entre 1959 y 1965. Ingresó en la CNEA en 1953 desempeñándose primero como Jefe del Laboratorio de Sepa ración Electromagnética de Isótopos. En los años 1961 a 1963 estudió reacciones nucleares con protones de 10 MeV en la Universidad de Birmingham, Inglaterra. A partir de 1960 fue miembro del Laboratorio del Sincrociclotrón en donde trabajó en reacciones nucleares inducidas con deuterones y colaboró en la extracción del haz. Fue jefe de dicho Laboratorio entre 1968 y 1973 fecha en la cual comenzó a trabajar en el examen de post-irradiación de combustibles nucleares en la Gerencia de Desarrollo en donde se desempeña como Gerente desde 1977.

A los tres años de la inauguración del sincrociclotrón se comenzaron las tareas de extracción de su haz, imprescindible para poder realizar mediciones de reacciones nucleares, que requieren el uso de partículas con una dispersión en energía mucho menor que la que posee el haz interno de este acelerador.

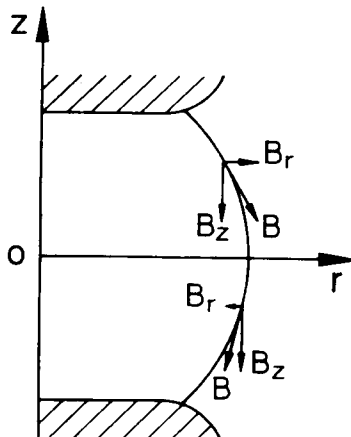
En un sincrociclotrón la ganancia de energía por vuelta es para una partícula sincrónica de aproximadamente 20 keV, y la distancia radial entre órbitas sucesivas del orden de 0.01 cm. Debido a que el proceso normal de aceleración en máquinas circulares induce a oscilaciones radiales del haz, este espaciado radial se reduce en la práctica por un efecto del mezclado de órbitas. Un blanco interno recibe por lo tanto partículas de muchas órbitas, con energías que difieren en casi 1 MeV en el Sincrociclotrón de Buenos Aires.

El primer sistema de extracción del haz fue realizado por Santos Mayo, C.H.Heras y J.Rosenblatt, comenzando a funcionar en 1957. Su principio de funcionamiento se basa en las siguientes propiedades de este acelerador: en un ciclotrón el movimiento de las partículas aceleradas es prácticamente circular, con un radio de r y una frecuencia angular

$$\frac{v}{r} = \omega = \frac{eB}{m}$$

Cuando la energía de los deuterones pasa de 20 MeV comienza a ser importante el crecimiento relativista de la masa, que llega a ser de 1.6% para deuterones de 2 MeV.

Además, el radio de las órbitas va creciendo con la energía, acercándose estas al borde del imán, donde decrece el campo magnético. En el sincrociclotrón los deuterones de 28 MeV están sobre un radio de 76 cm, donde el campo magnético es 1.8% menor que en el radio $r=0$. Para mantener a las partículas sincronizadas con el campo eléctrico acelerador, se modula la frecuencia del mismo, ω_E disminuyéndola durante el proceso de aceleración en 3.4%. Esta disminución del campo magnético con el radio tiene otras consecuencias sobre las propiedades del haz:



Una partícula que se mueva fuera del plano medio está sujeta a fuerzas cuyos componentes radial F_r y vertical F_z pueden expresarse mediante las ecuaciones:

$$1) \quad \ddot{Z} - k \omega^2 Z = 0 \quad k = \frac{r}{B_z} \frac{\partial B_z}{\partial r}$$

que da un movimiento armónico simple de frecuencia $\omega_z = \omega \sqrt{-k}$ si $k < 0$

$$2) \quad \ddot{X} + (1+k)\omega^2 X = 0$$

con la frecuencia de oscilación radial $\omega_r = \omega \sqrt{1+k}$ de modo que se tienen órbitas estables si $0 > k > -1$.

En el Sincrociclotrón de Buenos Aires en $r = 76$ cm se tiene $k = -0.12$,

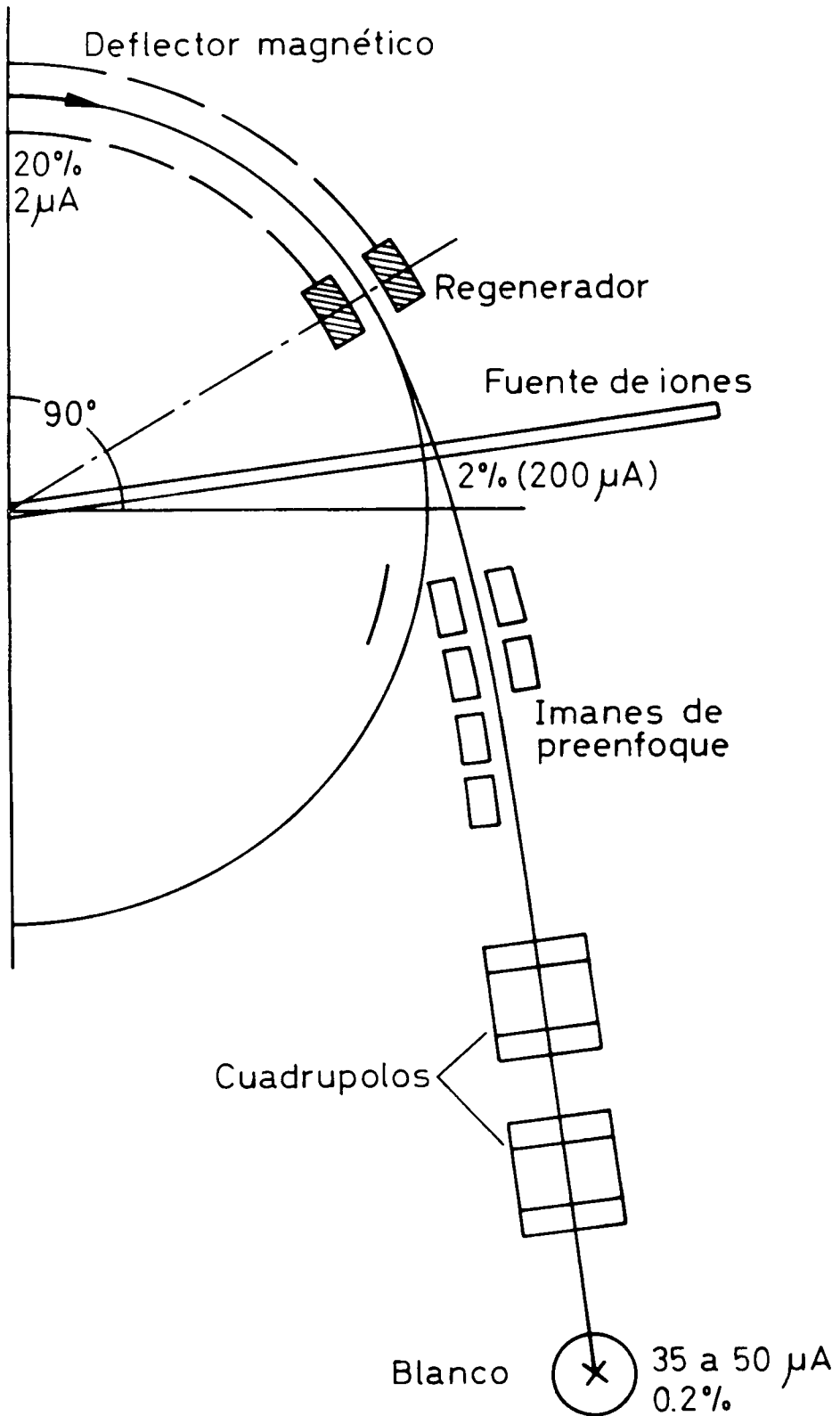
$$v_r = \frac{\omega_r}{\omega} = \sqrt{1+k} = 0.98$$

$$v_z = \frac{\omega_z}{\omega} = \sqrt{-k} = 0.34$$

por lo tanto hay aproximadamente una oscilación radial por vuelta, y tres oscilaciones verticales por vuelta de ese radio. La amplitud de las oscilaciones radiales es de aproximadamente 0.1 cm para $r = 76$ cm. Si se logra aumentar esta amplitud como para que la distancia entre órbitas sucesivas sea de varios cm, se puede conducir al haz hacia el exterior del electroimán. En 1955 Le Couteur demostró teóricamente la posibilidad de perturbar las órbitas mediante un campo magnético localizado creciente con el radio que comienza con el radio de extracción. Este campo, llamado regenerador, induce oscilaciones radiales que eliminan la precisión nodal de las órbitas sincrónicas, provocando así un refuerzo a fase fija de la amplitud de las oscilaciones radiales, que crecen entonces en forma exponencial con el radio.

En 1957, dos años después de publicarse la teoría de Le Couteur, se tenía ese campo regenerador construido en el sincrociclotrón de Buenos Aires, que fue así uno de los 2 ó 3 primeros aceleradores que utilizó ese método para la extracción del haz (Mayo, Rosenblatt, Slobodrian).

La Fig. 2 ilustra este campo regenerador y los valores de transmisión alcanzados. El haz interno era de 10 μ A. Al entrar al sistema deflector se reduce a 2 μ A. Al salir de la cámara de vacío disminuía a 0.2 μ A. La divergencia radial era del/200 mientras que la vertical era despreciable. Las dimensiones del haz en la posición del blanco era 7 mm de ancho en el sentido vertical y 11 mm en el sentido horizontal. La corriente alcanzada en el blanco variaba de 35 a 50 μ A.



El sistema de extracción se completaba con un deflector electrostático y un conjunto de canales magnéticos que extraían el haz fuera del ciclotrón, manteniendo la rigidez magnética del haz extraído, $B.r = 1.06 \times 10^6$ Gauss-cm, igual al producto del radio por el campo magnético a los largo de la trayectoria externa.

El sistema de Mayo et al fue abandonado debido a 1) inestabilidades del deflector electrostático; 2) el sistema de extracción no tenía propiedades de enfoque, y el haz externo tenía una divergencia vertical de aproximadamente 25° .

En 1958 Rosenblat y Slobodrian diseñaron un nuevo sistema de extracción, que se instaló en 1959. En este se reemplazó el deflector electrostático por uno magnético formado por sectores con campos magnéticos alternadamente crecientes y decrecientes con el radio, aplicando así el concepto de enfoque por gradiente alterno, lo que era una aplicación novedosa. En 1950 se habían construido dos ciclotrones de electrones utilizando este principio en Berkeley, y en 1958 se inauguraba el primer ciclotrón isócrono para nucleones en Delft, que aceleraba 12 MeV de protones. La máquina similar de Amsterdam obtenía un haz externo de una intensidad mucho menor: la densidad del haz era de 1.5×10^{-7} A/cm² en Buenos Aires contra aproximadamente 10^{-9} A/cm² en Amsterdam.

Con este sistema se realizaron trabajos en física nuclear hasta 1965: dispersión elástica e inelástica de deuterones por Be, B, etc. En 1965 se decidió modificar este sistema para aumentar la proporción de haz extraído. Para ello se procedió en dos etapas:

1) Corrección y regulación del campo magnético original del Sincrociclotrón (Mayo, Sametband, Sinderman, Lorenzetti).

La calidad del haz está determinada por varios factores, contando entre los más importantes la precisión con que el campo magnético real sigue al valor teórico en cada punto del recorrido del haz. Si se aparta, aparecen defectos tales como las oscilaciones radiales y verticales que lo hacen diverger y disminuir su densidad. Una regulación pobre del campo disminuye también la intensidad del haz. Se hizo un estudio de la constancia del campo a lo largo del tiempo, comprobándose fluctuaciones y desviaciones lentas de la corriente del electroimán. Mediante compensación de constantes de tiempo en el circuito se logró regular la corriente a 1:4000, lo que debido a efectos de saturación del imán del ciclotrón lleva la estabilidad del campo magnético a 1:12000.

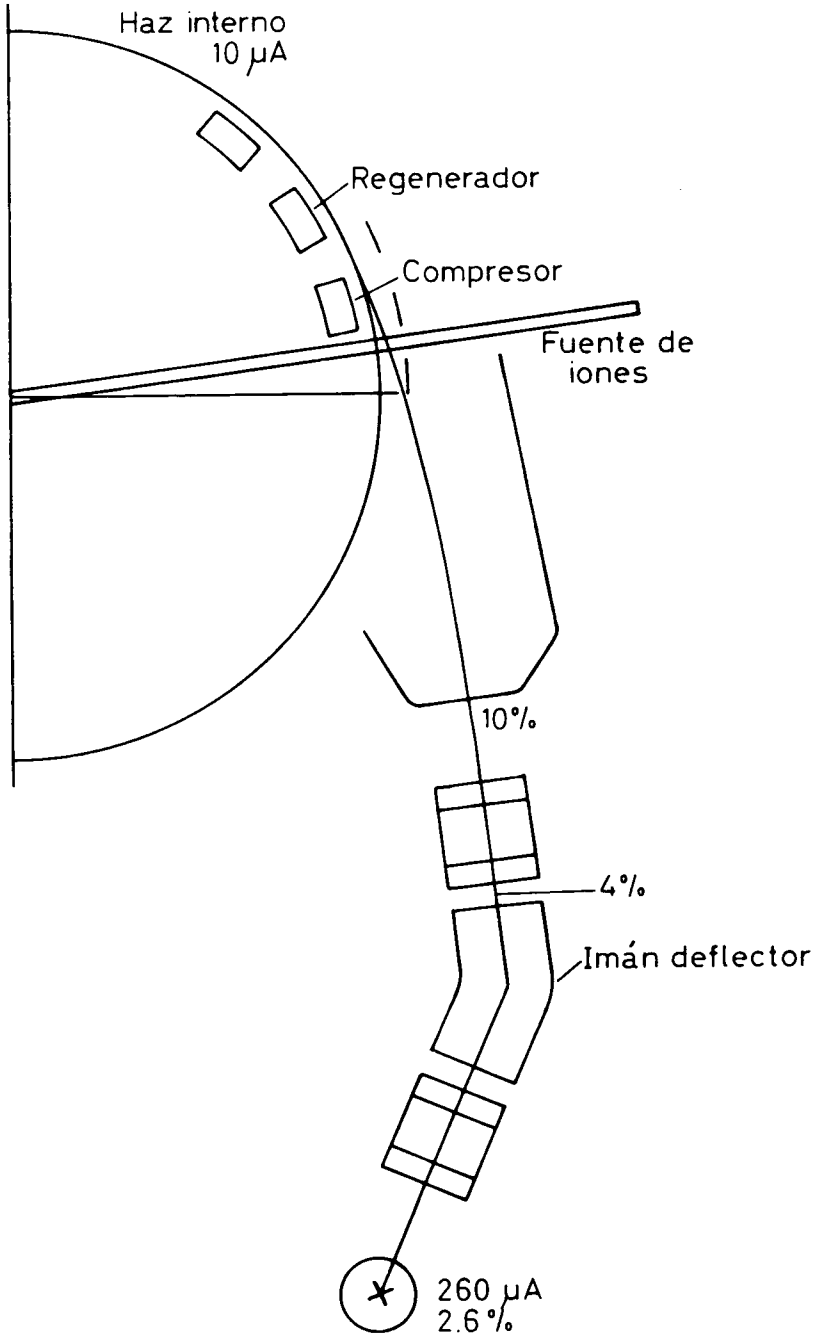
La forma del campo magnético se estudió mediante mediciones utilizando la técnica del hilo flotante y mediante fluxímetros de resonancia nuclear de protones y de efecto Hall.

Se detectaron inhomogeneidades azimutales de campo para diversos radios que producían diferencias de hasta 1.5cm entre los planos medios geométrico y magnético, y también desplazamientos radiales de los centros de órbitas de hasta 2.5cm.

Se diseñaron las chapas correctoras correspondientes, que se fijaron a los polos del imán.

El análisis armónico del campo magnético realizado luego de las correcciones mostró una reducción de la componente de primera armónica en un factor 20, reduciendo así en un factor 2 la amplitud de la oscilación radial para $r = 75\text{cm}$.

Este trabajo fue lento y tedioso, requiriendo tener desarmado el ciclotrón durante 1 año.



2) Extracción del haz (Mayo, Sametband)

Este sistema se basa en el método de De Kruiff y Verster, en el que el campo regenerador utilizado anteriormente se le agrega un campo auxiliar, llamado el compresor, que opera sobre las órbitas perturbadas en su última vuelta, haciendo que todas pasen por una zona definida con lo que se crea un foco virtual de las partículas, desde el que estas divergen para entrar al canal magnético. Se controla así su divergencia radial, mientras que el campo regenerador controla la amplitud de la oscilación vertical del haz. Operando de esta forma es posible inducir entre órbitas sucesivas una distancia del orden de 5cm.

Utilizando los datos magnéticos previamente medidos se resolvieron las ecuaciones de las órbitas, obteniéndose el diagrama de fases del movimiento radial, con el que se diseñaron los campos regenerador y compresor.

La primera parte del campo regenerador coincide con el que corresponde a la teoría de Le Couteur.

Se construyeron y ensayaron en el ciclotrón los campos correspondientes, y además se diseñaron e instalaron 34 correctores necesarios para restablecer la configuración magnética original en la máquina.

En 1967 se tenía a la salida de la cámara de vacío un 10% del haz interno, con una divergencia vertical despreciable.

3) Sistema de transporte del haz externo (Sametband, Ferrero, Ceballos, Erramuspe, Sofía, Fazzini)

El haz así extraído debe llevarse al recinto experimental. Se diseñó para ello un sistema formado por dos pares de cuadrupolos y un imán deflector. Se instaló un equipo adicional de vacío, una nueva cámara de dispersión, y un visor observado por un circuito cerrado de TV. Estas tareas se terminaron en 1970.

En ese año 1970 comenzaban las experiencias de $(d, {}^6\text{Li})$ y en 1972 variando la posición del regenerador y del compresor se logró extraer un haz α de 55 MeV, que permitió iniciar en 1973 una serie de experiencias (α, xn) .

Posteriormente se realizaron algunas reparaciones que significaron un breve cese de operación (reparación de la falsa D, modulador y generador para el imán principal).

En 1975 se instaló un sistema para coincidencias γ - γ (Mariscotti et al) para ello Fazzini et al instalaron una nueva facilidad on-line, con una cámara de reacción de plástico de paredes delgadas, conveniente para mediciones de distribuciones angulares. Un electroimán de gap variable y dos detectores de Ge(Li) completan la instalación. Un multidiscriminador digital para la altura de pulso fue construido (Behar et al).

