

09.70.12

Estudio de Factibilidad

El Ciclotrón Isócrono
de 130 MeV de la C.N.E.A.

1970

Estudio de Factibilidad

El Ciclotrón Isócrono
de 130 MeV de la C.N.E.A.

1970

El presente estudio de factibilidad fue realizado teniendo en cuenta la repercusión que en el ámbito científico y tecnológico puede tener la instalación de un acelerador nuclear tan versátil como es el ciclotrón isócrono.

Su utilización en física nuclear permitirá continuar desarrollando la investigación en esta ciencia, la que además de constituir un campo fundamental, tiene múltiples aplicaciones; por ser la base de la tecnología nuclear, obliga al desarrollo de técnicas modernas, además de ser una excelente escuela para el en trenamiento de científicos y técnicos.

Simultáneamente permitirá desarrollar muchos otros campos, ya que es creciente en el mundo la utilización de ciclotrones en: física de neutrones, metalurgia nuclear, química de radiaciones, producción de radioisótopos y química y biología nucleares.

Moisés J. Sametband

- Cap. I - El Sincrociclotrón de 28 MeV.
- Cap. II - La Situación en América Latina.
- Cap. III - Posibilidades para el desarrollo de la Física Nuclear en la Argentina.
- Cap. IV - Factores Decisivos en la Elección del Ciclotrón Isócrono.
- Cap. V - Descripción del Ciclotrón Isócrono.
- Cap. VI - Usos del Ciclotrón Isócrono en las Investigaciones Científicas y Técnicas.
- Cap. VII - Datos y Características del Proyecto.
- Cap. VIII - Estudio Económico del Proyecto de Instalación del Ciclotrón Isócrono.

APENDICE A.

- Actividad Científica del Laboratorio.

APENDICE B.

- Estudio de la Selección de la Ubicación del Ciclotrón.

APENDICE C.

- Llamado a Licitación.

CONCLUSIONES

El Sincrociclotrón de la Comisión Nacional de Energía Atómica ha prestado importantes servicios durante la primera década de su existencia al desarrollo de la investigación científica en la Argentina.

La máquina fue instalada por Philips durante los años 1952 y 1953 y en Noviembre de 1954 se produjo la primera irradiación con haz interno con fines de investigación. En 1957, tras las modificaciones introducidas por el grupo de profesionales y técnicos de la CNEA a cargo de la máquina, se dispuso de un haz externo que amplió las posibilidades de realización en forma continuada, de trabajos de investigación científica en física, química, medicina y biología. Por otra parte, se han realizado desarrollos importantes en electrónica nuclear y tecnología de aceleradores.

La máquina fue utilizada también con fines de producción de radioisótopos para aplicaciones durante aproximadamente unas 600 horas anuales.

La actividad científica desarrollada desde 1954 hasta 1970 en el Laboratorio está detallada en el Apéndice A, en el que figuran los trabajos publicados, comunicaciones a congresos, actuación docente universitaria, etc.

Mientras el Laboratorio de la Comisión Nacional de Energía Atómica cumplía esta tarea se produjo en otros países un gran desarrollo en la tecnología de los aceleradores de partículas. Durante los últimos cinco años se han instalado aproximadamente 40 aceleradores nuevos, algunos de los cuales cubren con exceso las facilidades que el Sincrociclotrón de la Comisión Nacional de Energía Atómica ofrecía para trabajos de investigación en física nuclear hace algunos años. Esta circunstancia hizo que se proyectase

perfeccionar y modernizar la máquina, estableciendo un programa gradual de trabajos tecnológicos que incluyó:

a) Cambio del regenerador, agregando un sistema regenerador-compresor a fin de aumentar la eficiencia de la extracción del haz;

b) Introducción de un electrodo auxiliar de radiofrecuencia a fin de repartir el haz en el tiempo y evitar el empaquetamiento temporal del mismo, con la consiguiente saturación de los detectores electrónicos;

c) Cambio de la fuente de iones, con miras a obtener una mayor corriente interna de deuterones y partículas alfa;

d) Modificación del tanque de vacío de la cámara de aceleración para permitir la instalación de las piezas ya mencionadas.

La mayor parte de estas modificaciones ha sido completada ya. En su ejecución surgieron algunos agregados al programa inicial tal como un nuevo sistema de vacío destinado a aumentar la capacidad de bombeo original.

Esto permite disponer, actualmente, de un haz externo de deuterones de corriente 10 veces mayor que la anterior lo cual se traduce en primer término en una ampliación decidida del campo de posibles experiencias, y por otra parte, en una economía de tiempo de irradiación para idénticos requisitos experimentales con la consiguiente reducción de costos de operación y consumo de energía, todo lo cual colocó al sincrociclotrón en condiciones de contribuir al desarrollo de las investigaciones nucleares en el país en forma destacada por un nuevo período.

Sin embargo, el rápido avance de la tecnología en el campo de los aceleradores de partículas mencionado más arriba mostró que

este nuevo período está por concluir. Puede estimarse que el sincrociclotrón permitirá realizar trabajos de investigación en física nuclear en forma competitiva con algunos laboratorios del exterior hasta un máximo de 2 años, y eso con tal que se elijan muy cuidadosamente los temas de trabajo, y se conozcan muy bien los programas de investigación que se estén desarrollando en aquellos laboratorios. Transcurrido ese segundo período de vida útil, volverá a caer en la obsolescencia, debido a la limitación que significa disponer solamente de un haz de partículas de energía fija y de poca intensidad, y a que solo pueden acelerarse con él deuterones y partículas alfa. De modo que se podrá utilizar solamente para la producción de algunos radioisótopos y para la formación de personal.

cap II

II - LA SITUACION EN AMERICA LATINA

Durante los últimos años, se han creado modernos laboratorios de investigaciones nucleares en Mexico, Brasil y Chile.

Esto se ha puesto en relieve en el último Congreso de la Asociación Física Argentina, realizado en La Plata desde el 28 de Julio hasta el 1° de Agosto de 1969, con la participación de físicos argentinos y a la que fueron invitados colegas de países Americanos y Europeos.

Durante el Congreso se realizó una mesa redonda sobre Física Nuclear, que tenía por objeto dar a conocer las actividades de los diversos grupos de física nuclear latinoamericanos con miras a una futura cooperación. Un representante de cada grupo expuso cuales eran las tareas que se estaban realizando, con qué medios contaban y cuales eran los planes futuros.

Lo que sigue es un resumen de las exposiciones, en lo que respecta al campo de las reacciones nucleares:

ARGENTINA:

Existe un grupo de física nuclear importante, el que forma parte del Departamento de Física Nuclear de CNEA. Es la División Reacciones Nucleares, que dispone de un sincrociclotrón de energía fija: 14 MeV de protones, 28 de deuterones, 55 de alfas, con una intensidad de haz externo de 300 nA, y una dispersión de energía de 300 KeV.

El programa de trabajo de medición de reacciones (d,t) que se está llevando a cabo, finalizará en 1971. Después de esa fecha la máquina será demasiado antigua para competir con las varias decenas de aceleradores tandem y ciclotrones isócronos que tienen una energía similar y un haz de mucho menor dispersión de energía (1 a 50 KeV).

En cambio dispone de un grupo de especialistas sumamente completo. El equipo de física experimental está integrado por los Doctores en Física: M.J.Sametband, H.J.Erramuspe, J.E.Testoni y M.A.J.Mariscotti, todos los cuales tienen varios años de trabajo en laboratorios del exterior, y además varios años de experiencia en física nuclear.

Lo mismo puede decirse del equipo de física teórica, que está integrado por los Doctores en Física: E.E.Maqueda, G.G.Dussel y R.P.J.Perazzo. Completan el equipo los siguientes Licenciados en Física; que están haciendo sus tesis en el Laboratorio: A.M.J.Ferrero, A.E.Ceballos (experimentales), O.M.Dragún, H.M.Sofía, S.L.Reich y M.Gordon (teóricos).

Se dispone entonces de un equipo de siete doctores en física con experiencia y seis licenciados en física.

El Laboratorio cuenta además con: un Servicio de Cómputo y Programación, que elabora los programas de física nuclear, prepara las tarjetas o cintas perforadas y hace el enlace con las computadoras disponibles.

Un Servicio de Electrónica, con un Ingeniero Electrónico, especialista en técnica de pulsos, que hace el service de los equipos electrónicos y diseña y construye circuitos transistorizados. Está secundado por cuatro técnicos electrónicos.

Un Servicio Electromecánico, con un Ingeniero Electromecánico especialista en aceleradores, para el mantenimiento del ciclotrón y la ejecución de los diversos proyectos del Laboratorio. Está secundado por tres técnicos electromecánicos y tres técnicos mecánicos.

Un Servicio de Preparación de Detectores de Estado Sólido. Produce detectores de silicio con litio difundido para la detección de partículas cargadas en las reacciones nucleares. A cargo del Doctor H.J.Erramuspe, secundado por un técnico.

BRASIL:

El laboratorio más importante es el de Sao Paulo. Allí se está instalando el Acelerador Tandem construido por la National Electrostatic Corporation.

Las características del mismo son:

Energía variable, desde 5 hasta 28 MeV de protones o deuterones, 10 a 56 MeV de alfas. Intensidad del haz: hasta 20 μ A. Un sistema analizador permitirá disponer de un haz externo de 500 nA con una dispersión de energía de solamente 2 KeV.

En el plan de trabajo se incluye acelerar iones pesados, y además protones y deuterones polarizados.

Ha comenzado el montaje de ésta máquina, y esperan comenzar el programa de física nuclear a fines de 1971.

El Laboratorio está dirigido por el Dr. O. Sala, con varios años de experiencia en el exterior y en Sao Paulo. En éste momento cuenta con pocos físicos, casi todos Licenciados que irán al exterior para completar el Doctorado. Cuenta con buenos Servicios de Electrónica, Mecánica y Computación.

CHILE:

El laboratorio más importante es el del Ciclotrón Isócrono de Santiago. Este acelerador, instalado hace dos años, tiene las siguientes características:

Energía variable, desde 2 hasta 11 MeV de protones, 2 a 5 MeV de deuterones, 8 a 16 MeV de alfas y helio -3. La intensidad de corriente externa es de 100 nA, con una dispersión en energía de 60 KeV.

En el plan de trabajo se incluyen reacciones nucleares y físicas de neutrones rápidos mediante tiempo de vuelo. La máquina fue instalada hace dos años y el haz externo existe desde hace unos meses.

El laboratorio está dirigido por el Dr. J. Zamudio, con experiencia en el exterior y Chile. En este momento cuenta con algunos Licenciados en Física, entre los cuales un argentino que trabajó un año en nuestro ciclotrón. Algunos irán al exterior para completar su Doctorado. Cuenta con buenos Servicios de Electrónica y Mecánica.

Ha suscrito un convenio de colaboración con BRASIL, para enviar a sus físicos a realizar experiencias en el Acelerador Tandem de Sao Paulo.

MEXICO:

El Laboratorio de la Universidad Autónoma de México cuenta con un Acelerador Tandem de la High Voltage Eng. de 3 a 12 MeV de protones y deuterones, con un haz externo analizado de varios centenares de nanoamperes y una dispersión en energía de 1 KeV. Tienen un espectrógrafo multigap para analizar los productos de las reacciones nucleares, y moderna instrumentación electrónica.

Cuentan con un buen Servicio de Electrónica y de Mecánica, pero el grupo de físicos experimentales es incipiente, no así el de físicos teóricos, que forma parte de una escuela de jerarquía internacional.

cap III

III. - POSIBILIDADES PARA EL DESARROLLO DE LA FISICA NUCLEAR EN LA ARGENTINA

Los físicos latinoamericanos asistentes a la Mesa Redonda estuvieron de acuerdo en que en éste momento el Sincrociclotrón de la CNEA es el mejor organizado, por la cantidad de físicos nucleares experimentados, y además, porque por vez primera en América Latina, se han integrado físicos teóricos con físicos experimentales para desarrollar temas de investigación en estructura nuclear. Reconocieron por otra parte que la organización de los Servicios Electrónico, de Cómputo y Electromecánico, están a la altura de los buenos Laboratorios de países avanzados.

Este panorama, halagador para la CNEA y para la Física Argentina, tiene no obstante una contraparte que pronto llegará a ser sombría: El ciclotrón con que se cuenta que cumple 15 años de funcionamiento en noviembre de este año, y que durante años centró al grupo de física nuclear más fuerte de Latino América, es ya obsoleto.

Las reformas terminadas el año pasado permitirán hacer investigación en física nuclear durante otro año y medio a dos más, pero en 1971, cuando el Tandem de Sao Paulo inicie su actividad cubriendo la energía de 28 MeV de deuterones del sincrociclotrón, pero con una dispersión de energía de solamente 2 KeV comparada con la del ciclotrón que tiene una dispersión de 300 KeV, ya no podrá utilizarse nuestra máquina para trabajar en física nuclear, y quedará entonces para hacer algunas irradiaciones de radioquímica.

Es evidente el peligro que significa tener laboratorios con aceleradores modernos en dos países limítrofes, BRASIL y CHILE, con escasez de personal experimentado y la intención especialmente en el caso de Brasil, de contratarlo en excelentes condiciones. Simultáneamente se da la situación, en nuestro país, de contar con el mejor grupo de físicos y una máquina casi obsoleta.

Esta situación tiene dos únicas alternativas:

- 1) Que se retarde la instalación de un nuevo acelerador nuclear.

El Laboratorio del Ciclotrón, que durante varios años fué el primero de Latino América, verá entonces dispersarse a sus integrantes.

- 2) Que se decida instalar un ciclotrón isócrono de 10 a 130 MeV.

Dicha máquina, además de ser uno de los aceleradores más completos para física nuclear, por sus características y por el rango de energías que abarca, permitiría desarrollar otros temas, como ser: estudios de daños por radiación para metalurgia nuclear; estudios de física de neutrones rápidos mediante la espectrometría de tiempo de vuelo; preparación de radioisótopos, entre otros con deficiencia de neutrones, los que no pueden prepararse en reactores análisis por activación con neutrones y con partículas cargadas; preparación de radioisótopos de vida muy corta con fines de investigaciones biológicas.

cap IV

IV - FACTORES DECISIVOS EN LA ELECCION DEL CICLOTRON ISOCRONO

Hace aproximadamente una década aparecieron en forma casi simultánea dos aceleradores nuevos: el Tandem Van de Graaff, y el ciclotrón isócrono, el uso de los cuales se está difundiendo de manera creciente, y que tienen aplicaciones amplias no sólo en el estudio del núcleo sino también en las investigaciones biológicas, la producción de radioisótopos para uso médico e industrial, y el análisis no destructivo de cantidades infinitesimales de materiales (1 parte en 10^{13}) lo que es especialmente útil en la metalurgia nuclear. Cabe agregar que se los puede utilizar para las investigaciones en física de neutrones, y como fuente pulsante de neutrones rápidos de energía variable.

En la actualidad unos 80 laboratorios nucleares cuentan con aceleradores de uno de estos tipos, con energías que llegan hasta unos 100 MeV para los protones, y centenares de MeV para iones más pesados.

a) Requisitos de un acelerador utilizable en física nuclear.

Los requisitos impuestos a un acelerador utilizable para reacciones nucleares son los siguientes:

- 1) Su energía debe estar muy bien definida (pequeña dispersión).
- 2) Dentro del rango de energías que pueda proporcionar un acelerador, el paso de un valor de energía del haz, a otro, debe poderse hacer con rapidez y facilidad.
- 3) El haz debe ser lo más paralelo posible, y de sección transversal mínima.
- 4) La intensidad de corriente del haz debe poderse variar con facilidad, y su valor máximo debe ser lo más alto posible.
- 5) Debe poder acelerar haces de iones pesados, y haces polarizados, lo que amplía enormemente el campo de investigación posible.

MA

10^5

ORNL

CHALK RIVER

ORNL
SOC

INTENSIDAD DE HAZ EXTERNO vs ENERGIA DE PROTONES
PARA CICLOTRONES ISOCRONOS Y TANDEMS V.de GRAAFF

10^4

- Aceleradores en funcionamiento
- ★ Aceleradores en proyecto

10^3

NASA
PRINCETON

UCLA
DUBNA

10^2

BIRMINGHAM
DRECH
PRINCE HENRY
GLASGOW
WASHINGTON
SULLY
MICHIGAN
OSAKA
PILLAN
LOUHAING
KANSAS
GRENoble
WINNIPEG
SANTIAGO
LOS ANGELES

VANCOUVER
ZURICH

AEG
ALEMANIA

40

TANDEMS

GRENoble

JULICH

COLUMBIA

10

10^2

10^3

10^4 MeV

Tanto el ciclotrón isócrono como el Tandem Van de Graaff pueden cumplir estos requisitos.

En cuanto al punto 1), ambos aceleradores efectúan un análisis magnético de las partículas que salen de la máquina, para obtener un haz monocromático. Una vez analizado magnéticamente, el haz tiene en ambos casos una dispersión de 0.01%, lo que es ampliamente satisfactorio para las experiencias modernas de física nuclear.

Punto 2). El paso de una energía a otra se hace en pocos minutos en ambos aceleradores. Pero el rango de energías posibles en un ciclotrón es mucho más alto que el del Tandem: este último puede proporcionar haces de protones de hasta 25 MeV; acaba de construirse un ciclotrón isócrono (en Maryland, Estados Unidos) que puede variar su energía de protones entre 10 y 130 MeV. El uso de una máquina así equivale a disponer de una batería de aceleradores con los cuales se estudiarán problemas mucho más variados.

En cuanto al punto 3), el paralelismo del haz, y su sección transversal, son comparables en ambos aceleradores.

En lo que respecta al punto 4), la intensidad de corriente de haz de un ciclotrón isócrono es del orden de 5 veces mayor que en un Tandem Van de Graaff. Esto es sumamente importante para la producción de radioisótopos, estudios de daños en aleaciones por irradiación, física de neutrones.

En lo que respecta al punto 5), ambos aceleradores pueden acelerar iones pesados o polarizados.

b) Costos de instalación y operación.

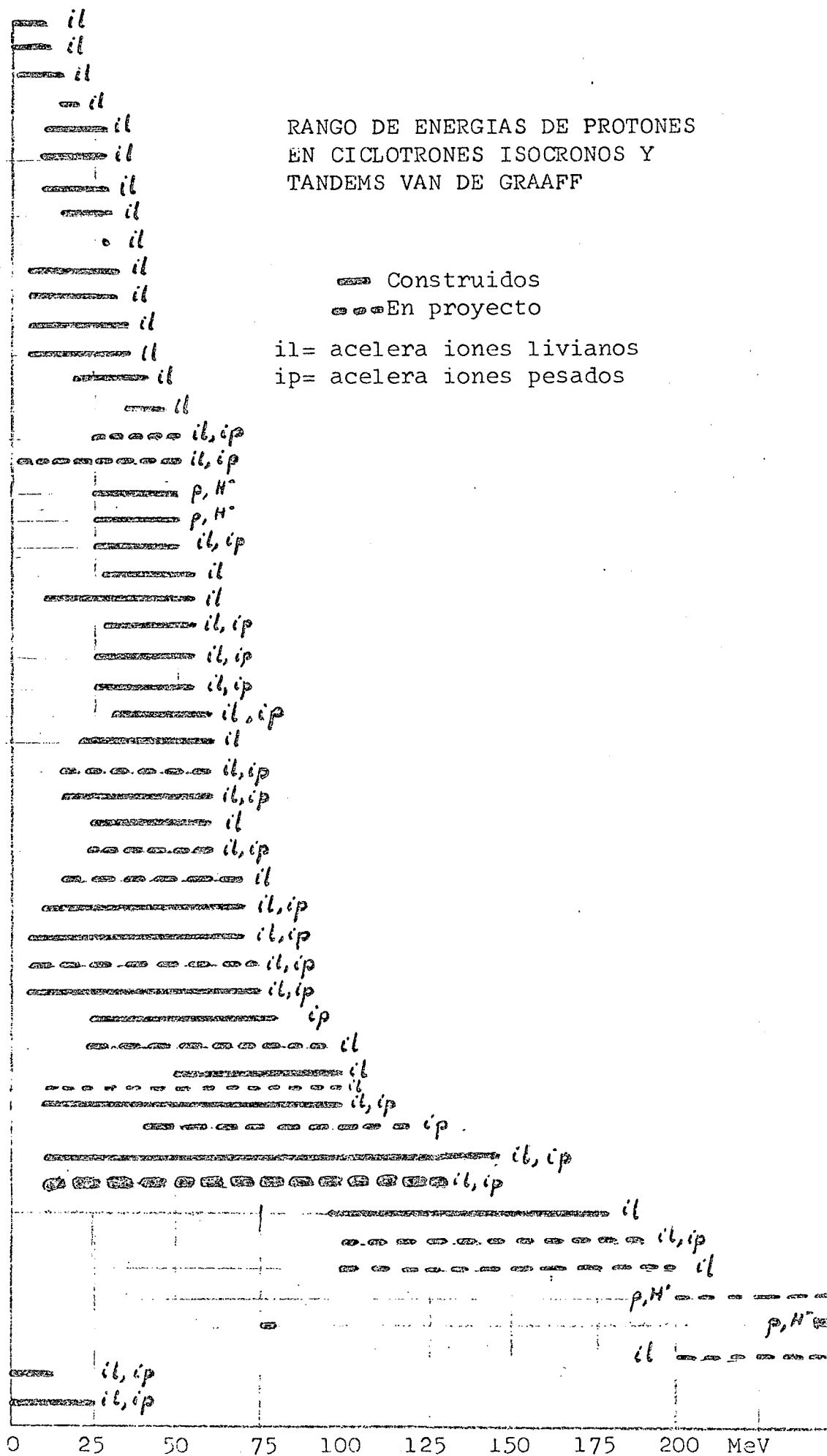
A igualdad de energía de haz externo el costo del acelerador es mayor para el Tandem. El costo de un acelerador Tandem Van de Graaff es de aproximadamente 10^5 dólares/MeV. y el límite práctico de energía obtenible en un Tandem de dos etapas es de 30 MeV, lo que significa un costo de aproximadamente 3×10^6 dólares, para un acelerador Tandem de 30 MeV y 10 μ A de corriente.

SANTIAGO
 BIRMINGHAM
 U ILLINOIS
 OREGON SU
 ORSAY
 SACLAY
 U COLORADO
 WASHINGTON U
 PHILIPS DUPHAR
 PHILIPS EINDOVEN
 FREE U HOLANDA
 HAMBURG
 U MICHIGAN
 BROOKHAVEN
 MILAN
 ALMA ATA
 OSAKA
 UCLA SF
 WINNIPEG
 HARWELL
 BONN
 BERKELEY
 MICHIGAN SU
 NASA
 PRINCETON
 ARGONNE NL
 TEXAS A&M
 LOUVAIN
 GRENOBLE
 BIRMINGHAM
 BASEL
 GRONINGEN
 ORNL
 UC DAVIS
 OHIO SU
 USN RES LAB
 CEVIL ORSAY
 USN RADIOL LAB
 KARLSRUHE
 LENINGRADO
 ARGONNE
 MARYLAND
BUENOS AIRES
 JULICH
 UPPSALA
 INDIANA U
 VANCOUVER
 ZURICH
 UCLA
 40 TANDEMS EN
 20 TANDEMS MP

RANGO DE ENERGIAS DE PROTONES
 EN CICLOTRONES ISOCRONOS Y
 TANDEMS VAN DE GRAAFF

— Construidos
 - - - En proyecto

il= acelera iones livianos
 ip= acelera iones pesados



Este es también el costo aproximado de un ciclotrón isócrono de 100 MeV y de una intensidad de corriente de unos 50 μ A.

A este costo debe agregarse el del edificio, sistema de transporte del haz, fuente de iones polarizados y computadora "on line", que tienen un precio practicamente igual para ambos tipos de acelerador, del orden de 2,5 millones de dólares, lo que lleva el costo total de un laboratorio instalado a aproximadamente 5,5 millones de dólares para ambos casos.

El consumo de energía eléctrica de un Tandem de 30 MeV es menor que el de un ciclotrón de 100 MeV.

Pero en cambio el gas aislante que llena el tanque del Tandem es un producto sumamente caro, y se pierde parte del mismo con cada operación de apertura de la máquina; se requieren por lo menos 2 ó 3 aperturas anuales para el mantenimiento del Tandem.

El costo de mantenimiento del Tandem de 30 MeV resulta así un poco superior al del ciclotrón isócrono de 100 MeV.

cap V

V - DESCRIPCION DEL CICLOTRON ISOCRONO

a) Principios del Funcionamiento

1) Ciclotrón de frecuencia fija

El principio de funcionamiento del ciclotrón convencional es el hecho de que una partícula cargada que gira en un campo magnético necesita el mismo tiempo para hacer una revolución, no importa cual sea el radio o la energía, y que ese tiempo sólo depende de la intensidad de campo magnético y de la carga y masa de la partícula.

Sin embargo, a medida que va incrementándose la energía, la masa de la partícula aumenta debido al efecto relativista, y eso hace que el tiempo de revolución también crezca; se va haciendo cada vez más difícil, y eventualmente imposible, continuar acelerándola.

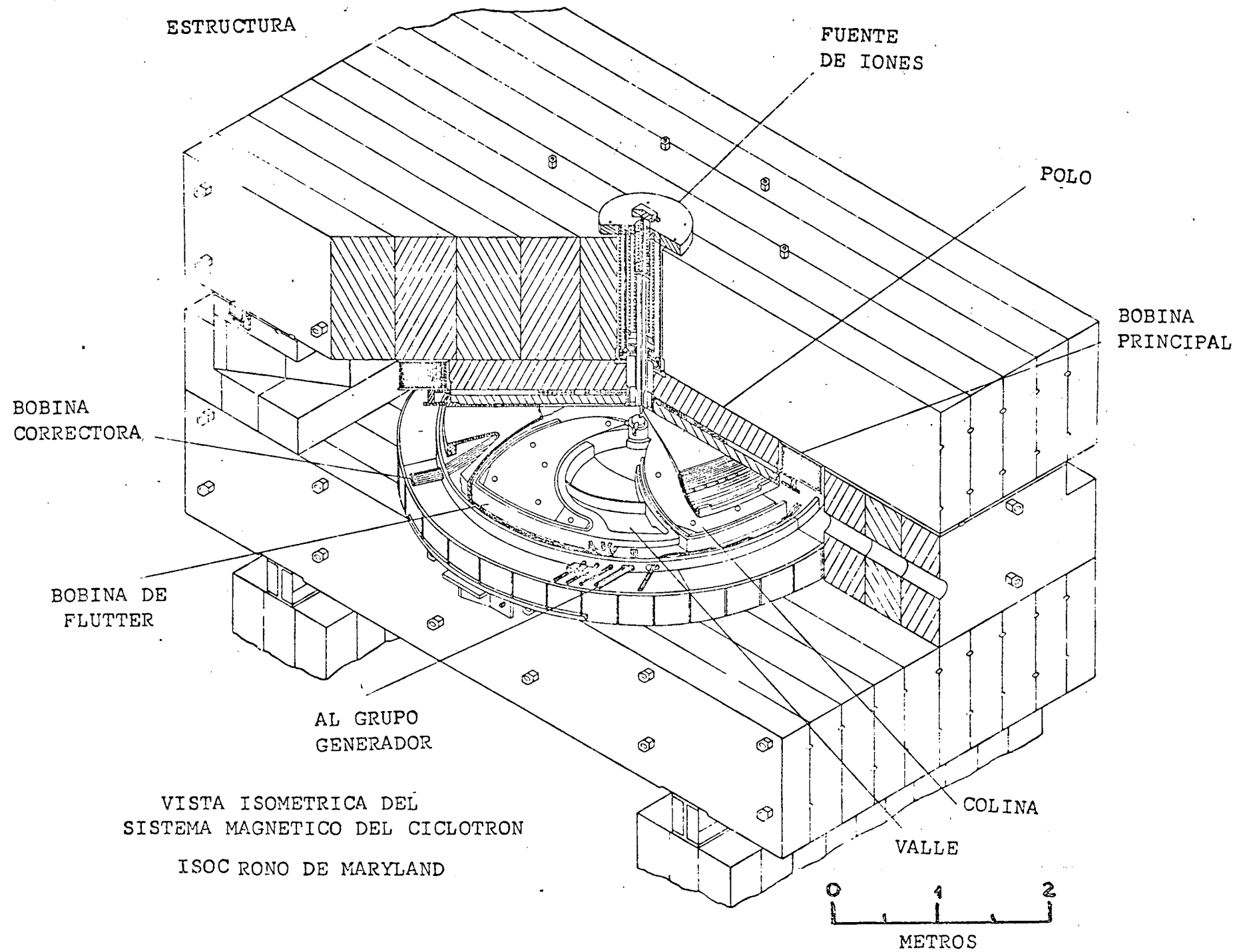
2) Sincrociclotrón

Para continuar acelerando los núcleos a energías mayores, se ha desarrollado el ciclotrón de frecuencia modulada o sincrociclotrón, en el que la frecuencia de variación del campo eléctrico disminuye en forma sincrónica, con el aumento relativista de la masa de los núcleos, compensándolo.

3) Ciclotrón Isócrono

En estos últimos años se ha desarrollado otro método para compensar el aumento relativista de la masa al crecer la energía. Este nuevo principio tiene la ventaja de permitir un ciclotrón de energía variable, mientras que los dos tipos anteriores son de energía fija.

El método consiste en aumentar el campo magnético con el radio de las órbitas, para cancelar exactamente el aumento relativista de la masa. Las partículas pueden ser así aceleradas a frecuencia constante, tal como en los primeros ciclotrones.



Sin embargo, cuando las partículas se mueven en un campo que crece con el radio, se dispersan rápidamente, de modo que hay que proporcionar un método para enfocarlas.

Esto se realiza dividiendo las piezas polares del electroimán en regiones o sectores alternados de campo magnético intenso y de campo débil; el ciclotrón isócrono es también llamado de enfoque por sectores.

Se puede aumentar aún más la fuerza de enfoque de las partículas haciendo que los sectores radiales en que quedan divididas las piezas polares tengan bordes de forma espiral.

Estos campos magnéticos permiten utilizar ciclotrones de frecuencia fija para energías de hasta 1 GeV.

El ciclotrón isócrono tiene así las ventajas de los dos tipos anteriores de máquina: la elevada intensidad de corriente del ciclotrón convencional, y la alta energía del sincrociclotrón; además, la nueva característica de poderse variar su energía en un amplio rango hace que disponer de un ciclotrón isócrono así equivalga a tener varios aceleradores de los tipos anteriores.

b) Componentes

El ciclotrón isócrono está compuesto de muchos elementos, todos los cuales son esenciales en la producción de un haz acelerado. Los cuatro componentes fundamentales son:

- 1) Fuente de Iones
- 2) Imán
- 3) Sistema de Radiofrecuencia
- 4) Sistema de Extracción

La fuente de iones proporciona las partículas; el electroimán; el campo magnético; el sistema de radiofrecuencia, la energía de aceleración, y el sistema de extracción proporciona el impulso que permite a las partículas abandonar su órbita dentro del ciclotrón.

- 1) Fuente de Iones - Se requieren partículas eléctricamente cargadas para interactuar con los campos eléctricos y magnéticos del ciclotrón. Entran a la fuente átomos neutros, que allí son desprovistos de sus electrones e inyectados radialmente en la zona de aceleración. Estas partículas pueden ser protones, deuterones, tritones, partículas alfa, u otros iones pesados.
- 2) Imán - El campo magnético del ciclotrón cumple dos funciones esenciales. Primero, obliga a las partículas a mantenerse en órbitas circulares, en las que puedan ser aceleradas repetidamente; segundo enfoca el haz de partículas, es decir evita que este se disperse.

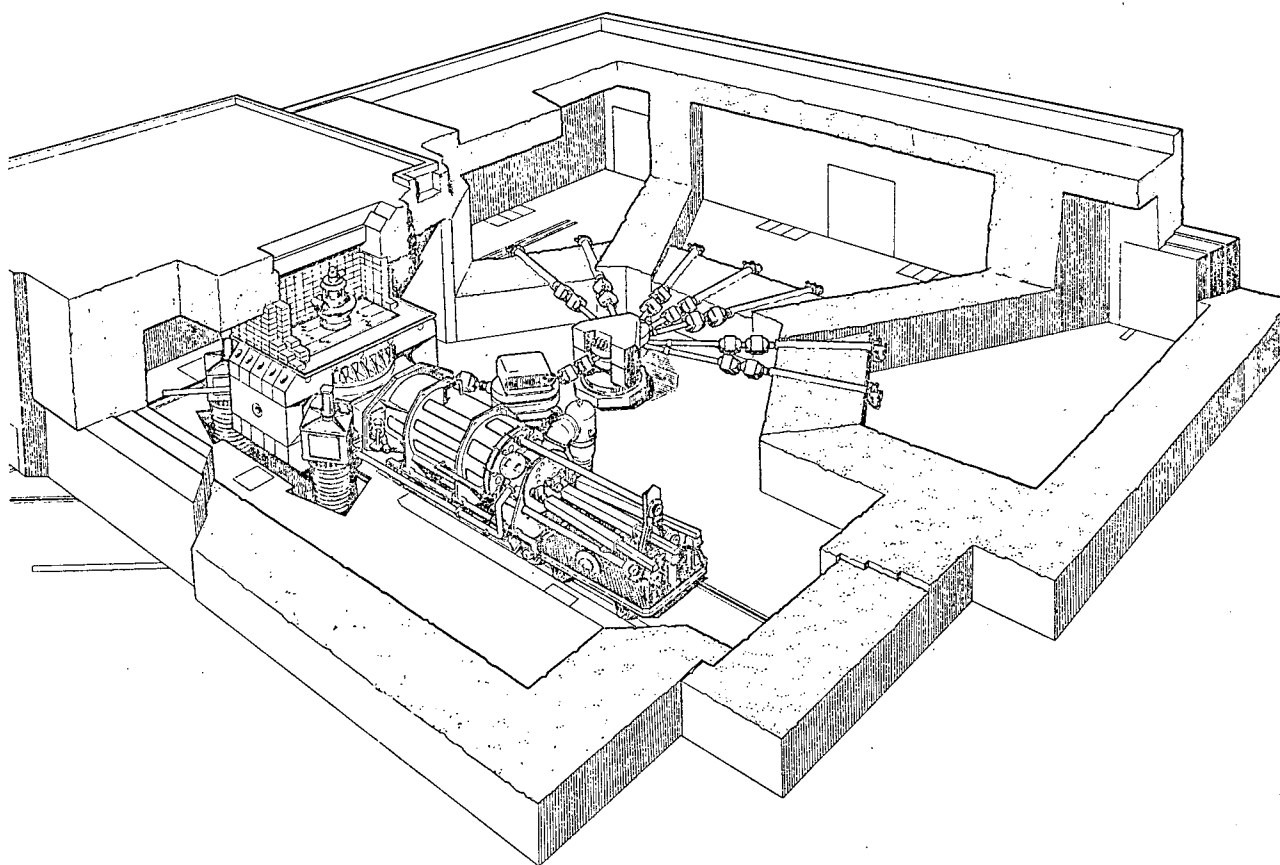
El imán de un ciclotrón de 10 a 130 MeV pesa aproximadamente 500 toneladas, y los polos tienen un diámetro del orden de 2.5 metros. El campo magnético es producido por corriente eléctrica continua que circula por bobinas instaladas en el electroimán y que requieren una energía del orden de 500 KW.

El complicado campo magnético del entrehierro se produce mediante varios tipos diferentes de bobinas. Las bobinas principales arriba mencionadas producen el campo magnético intenso, que llega a 20.000 Gauss y que hace rotar cíclicamente a las partículas.

Otras bobinas forman anillos concéntricos que cubren cada uno de los polos. Su objeto es crear un campo magnético corrector que mantiene constante el tiempo necesario para que las partículas hagan una revolución completa, no importa a qué distancia del centro se encuentren.

El ciclotrón se torna así isócrono (igual tiempo), permitiendo que el voltaje acelerador de radio frecuencia puede ser aplicado con una frecuencia constante durante la aceleración.

Las piezas polares del electroimán no son planas como en un ciclotrón convencional, sino que consisten de secciones de borde espiral, alternativamente elevadas y bajas (valles y colinas). Hay



CORTE DEL AREA EXPERIMENTAL DEL CICLOTRON ISOCRONO DE HARWELL, INGLATERRA

ocho sectores, (cuatro colinas y cuatro valles) dispuestos con sus vértices en el centro de cada polo.

Esta distribución resulta en un campo magnético que varía azimutalmente, y que enfoca el haz de partículas. Sobre los valles y colinas hay un tercer tipo de bobinas, que controlan el grado de enfoque del haz de partículas aceleradas.

Una cuarta clase de bobinas, ubicadas en varios lugares sobre la superficie de cada polo, proporciona una corrección para las inhomogeneidades del campo magnético, y además varían la forma de las órbitas iniciales.

3) El Sistema de Radiofrecuencia - La energía necesaria para la aceleración de las partículas la proporciona el sistema de Radio Frecuencia, que consiste de dos "dés" o cavidades huecas, excitadas independientemente por amplificadores separados, y un oscilador con un rango de frecuencias que vá generalmente de 5 a 25 MHz.

Cada dé está compuesta por placas de cobre. Las dos dés se insertan en el campo magnético del entrehierro, en forma diametralmente opuesta; las partículas son aceleradas por los voltajes alternos aplicados por el oscilador a las dés. El voltaje en las dés puede llegar a 30.000 ó 90.000 voltios.

4) El Sistema de Extracción - Una vez que las partículas tienen la energía deseada el sistema de extracción les dá un impulso para que abandonen el ciclotrón y pasen al sistema de transporte del haz.

El sistema de extracción consiste básicamente de un deflector electrostático que desvía el haz acelerado y lo hace pasar a través de un canal magnético. El canal magnético es un dispositivo que reduce el campo magnético en una pequeña región dentro del ciclotrón, permitiendo así a las partículas abandonar sus órbitas circulares y alejarse del ciclotrón.

Los cuatro sistemas descriptos: fuente de iones, electroimán, sistema de radio frecuencia, y sistema de extracción, realizan las operaciones básicas del ciclotrón. Se requieren sistemas adicionales por razones prácticas. Los más importantes entre estos son el sistema de vacío y el de enfriamiento.

C - CARACTERISTICAS DEL CICLOTRON A INSTALAR

Las características principales del ciclotrón isócrono a instalar son:

Energía de algunos de los iones a acelerar

Protones y Alfas:	10	a	130	MeV
Deuterones:	5	"	65	"
Tritio:	5	"	40	"
$^3\text{He}^{2+}$	10	"	170	"
$^{12}\text{C}^{4+}$	16	"	160	"
$^{14}\text{N}^{5+}$	15	"	210	"
$^{16}\text{O}^{5+}$	20	"	200	"
$^{20}\text{Ne}^{5+}$	20	"	170	"
$^{40}\text{Ar}^{5+}$	40	"	80	"

Intensidad del Haz:

	Interno	Externo
Protones (μA)	100	40
Deuterones	100	40
$^3\text{He}^{2+}$	30	20
$^4\text{He}^{2+}$	30	20
$^{12}\text{C}^{4+}$	3	1

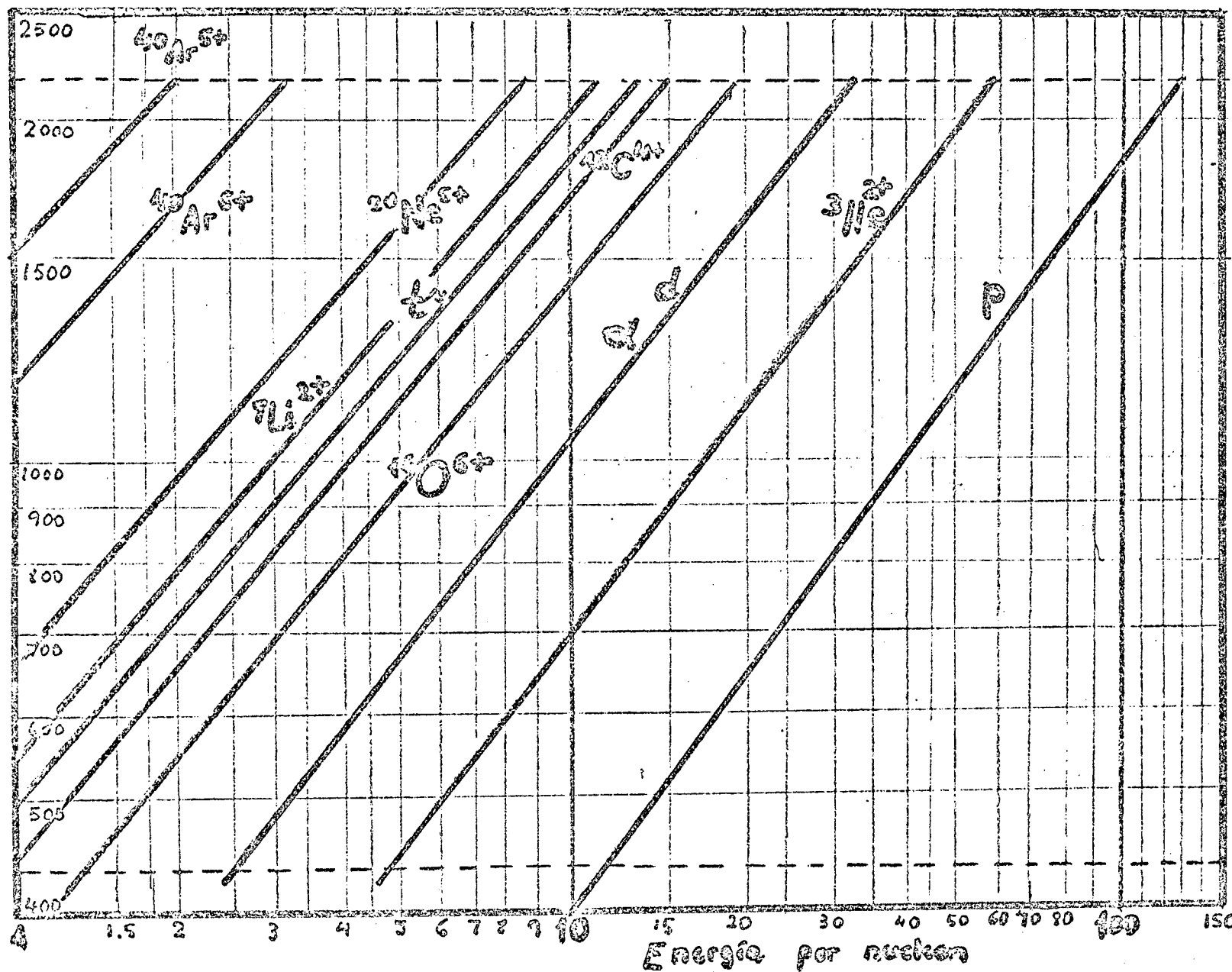
Propiedades del Haz Externo:

Emitancia (100 MeV protones)

Radial (m.m.m. rad) 20

ENERGIA DE LOS NUCLEONES EN FUNCION DEL PRODUCTO CAMPO MAGNETICO POR RADIO
EN EL CICLOTRON PROYECTADO

$\bar{B}r$
(kG cm)



MeV/nucleon

Axial	(m.m.m.rad)	25
Resolución en energía		0.3%

Neutrones:

Se pueden obtener haces de neutrones de energía variable con un flujo del orden de $10^{12} - 10^{14}$ neutrones/segundo.

Un sistema de analizadores magnéticos permitirá obtener un haz externo con una dispersión del orden de 5×10^{-4} para estudios de estructura nuclear.

Se instalará también un espectrógrafo magnético (tipo polo dividido) para analizar productos de reacciones con una resolución del orden de 10^{-4} (para $mE/Z^2 \leq 130$).

Existirá una fuente de iones polarizados para protones y deuterones.

cap VI

VI - USOS DEL CICLOTRON ISOCRONO EN LAS INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y TECNICAS.

El ciclotrón isócrono es el acelerador que permite mayor variedad de usos en las investigaciones científicas y técnicas, como quedó evidenciado en la Conferencia Internacional sobre "Usos del Ciclotrón en Química, Metalurgia y Biología," realizada en Oxford, Inglaterra, en Setiembre de 1969. Una idea de estas aplicaciones la puede dar la distribución del tiempo de irradiación de los ciclotrones de Harwell, Inglaterra, y Karlsruhe, Alemania, que son casos típicos en el uso actual de estos aceleradores.

Ciclotrón Isócrono de Harwell

Tema	% Tiempo Irradiación
Física Nuclear	15
Química Nuclear (Fisión)	15
Química Nuclear (Radioquímica)	15
Metalurgia	22
Producción de Isótopos	25
Desarrollo Aceleradores	11
Mantenimiento	11
Otros	7

Ciclotrón Isócrono de Karlsruhe

Tema	% Tiempo Irradiación
Física Nuclear	30
Física Neutrones	25
Metalurgia	10
Radioisótopos	15
Desarrollo Aceleradores	10
Mantenimiento	10

Los usos actuales del ciclotrón se pueden clasificar en los siguientes temas:

- 1) Estructura Nuclear
- 2) Física de Neutrones
- 3) Metalurgia y Daños por Radiación
- 4) Química de Radiaciones
- 5) Química Nuclear
- 6) Producción de Radioisótopos
- 7) Biología.

Se pasa a continuación a detallar cada uno de los mismos:

1) ESTRUCTURA NUCLEAR

El tipo de investigación en física nuclear que puede efectuarse mediante el ciclotrón isócrono se detalla a continuación:

- Problema del movimiento de partícula independiente; estados de una partícula en el modelo de capas; modelo óptico. Se requieren más datos experimentales para probar la exactitud de la descripción de partícula independiente en la medición del coeficiente de parentesco fraccionado de los estados de una partícula en un núcleo con doble capa cerrada. Los cálculos habituales de stripping involucran tantas aproximaciones que difícilmente puedan resolver este problema. En cambio parecen más promisorias las experiencias sobre resonancias análogas observadas por dispersión de protones o stripping a energías bien debajo de la barrera Coulombiana.
- Otro problema importante es la dependencia del potencial del modelo de capas con el estado estudiado, que algunas veces se menciona como dependencia de la velocidad o no-localidad del potencial. Se requieren más datos sobre estados de gran energía de unión para aclarar este panorama, ya que aún no se ha comprendido bien cómo es posible tener nucleones independientes ligados por 100 o más MeV, como surge de los análisis de datos experimentales disponibles.

Resulta oscuro además el origen del término imaginario en el potencial óptico y la posible estructura en las intensidades de ese potencial.

El término imaginario puede ser asociado con los llamados "door way states" que se acoplan al movimiento de la partícula incidente; podría quizá representar estados no específicos de partícula-agujero, o podría representar vibraciones colectivas cuádrupolares, octupolares u otras aún no identificadas. Aún no ha sido asignada la contribución relativa de cada uno de estos mecanismos.

Este problema tiene relación directa con la dependencia radial del potencial imaginario y con el problema más general de hasta qué punto es posible reemplazar los acoplamientos específicos por un término imaginario en el potencial de una partícula. Reacciones del tipo interacción directa con transferencia de una o más partículas y acoplamientos partícula-agujero permiten evaluar parámetros de gran valor para el estudio de modelos nucleares. Mediciones de polarización y sección total de reacción son de gran valor a tal fin.

El análisis de estos resultados en términos del modelo óptico y en base a DWBA permite enlazar ciertos resultados con el modelo de capas.

La existencia de conglomerados de nucleones dentro del núcleo formando estructuras estables requieren ser estudiados mediante reacciones con múltiple producción de partículas salientes y correlación angular y temporal de las mismas.

- El problema de algunos efectos de correlación entre partículas en el núcleo que han sido reconocidos como importantes en el estudio de la estructura nuclear: rotaciones y vibraciones de todo el núcleo; correlación entre pares de partículas dentro del núcleo.

Este último fenómeno aún no ha sido bien comprendido. El estudio de las reacciones con transferencia de dos partículas permite conocer este tipo de correlación. Esto permitirá (por primera vez) comprobar el efecto de apareamiento que ha sido usado hasta ahora por sus efectos sobre las energías de los diversos estados excitados, y para explicar estados con mezclas de diversas configuraciones que aparecen

en reacciones con transferencia de una partícula.

Un núcleo con simetría no esférica posee el movimiento rotacional y vibracional. El movimiento rotacional es perturbado por las fuerzas de Coriolis y centrífuga, las que a su vez pueden afectar la forma del núcleo.

Por ejemplo, un núcleo deformado en forma oblate se caracteriza por tener una completa alineación de los momentos angulares de todas las partículas que se hallan fuera de capas cerradas; la excentricidad cambia, pueden aparecer deformaciones no axiales y el "gap" de energía debida a la correlación de pares decrece. Aún no hay una evidencia directa sobre la importancia relativa de esas distorsiones sobre el movimiento intrínseco de los nucleones cuando el momento angular rotacional aumenta.

Midiendo las excitaciones intrínsecas es posible estimar el acoplamiento al movimiento rotacional; midiendo momentos y probabilidad de transición de estados rotacionales excitados es posible medir la variación de forma con la rotación.

Resulta mucho más difícil medir la variación de la correlación de pares con la frecuencia rotacional pero sería de gran valor ese dato.

- El estudio de las excitaciones intrínsecas de los núcleos deformados proveen "tests" de gran valor para nuestra comprensión de las relaciones entre los modelos de partícula independiente y colectivos. La evidencia del movimiento vibracional resulta de la existencia de transiciones multipolares eléctricas muy intensas que se presentan sistemáticamente en estados excitados, los que a su vez resultan ser los más fuertemente excitados en procesos que se cumplen por la interacción del campo nuclear de un proyectil con un núcleo blanco, tales como scattering inelástico de p , α , etc.

Así para el caso de vibraciones cuadrupolares de baja frecuencia sabemos que la excitación puede ser repetida (como se espera para el caso del modo colectivo para un bosón) y dichos estados han sido observados para excitaciones de dos y tres fonones.

- Mediciones de momentos cuadrupolares estáticos de primeros estados excitados 2^+ por medio de excitación coulombiana múltiple han mostrado que el movimiento vibracional no puede ser descrito en términos de un oscilador armónico con cierto grado de anarmonicidad, y por tanto en completa oposición con la imagen de vibración armónica alrededor de un estado esférico de equilibrio.

Cuestiones tales como:

- ¿Cuál es la participación relativa del neutrón y del protón en los modos de vibración dipolar, cuadrupolar y octopolar?
- Existe alguna correlación entre los spines y el movimiento orbital de los nucleones que participan en la vibración?
- ¿Cómo se afecta la correlación de pares por el movimiento vibracional?

resultan de gran actualidad:

Estas cuestiones pueden ser estudiadas por medio del scattering inelástico con intercambio de cargas por medio de efectos de polarización en scattering inelástico y por medio de reacciones con transferencia de dos nucleones.

Del estudio del modelo colectivo y de su comprensión profunda resultará sin duda la interpretación del fenómeno de fisión asociado a modos vibracionales con grandes variaciones en la forma del núcleo.

- La excitación coulombiana con iones pesados provee también una excelente herramienta para estas cuestiones y para el estudio de procesos fotonucleares.

Los efectos de correlación en el núcleo pueden estudiarse mediante configuraciones con 2, 3 ó 4 partículas fuera de capas cerradas interactuando entre sí y con el "core". Observando todos los datos experimentales disponibles al respecto la situación puede resumirse mediante esta pregunta clave: ¿Cuándo una capa cerrada es cerrada?

Así por ejemplo, es posible que muchos aspectos de los espectros resultantes de esa configuración se expliquen en términos de las pocas

partículas extra "core", pero además se encuentra alguno que otro estado de baja excitación, o alguna transición muy favorecida que requiere necesariamente una explicación en términos de excitación del "core" (de capas cerradas) junto con las partículas extra.

Parece hoy bien establecido que la baja energía de excitación de esos estados está asociada con deformaciones colectivas. La descripción detallada de estados deformados y esféricos aún no se ha logrado completamente, y representa el problema de transición entre estados debido a unas pocas partículas extra "core" y estados debidos a movimientos colectivos.

- La parte de altas energías de excitación de todo espectro continúa siendo desconocida. Todo nuestro conocimiento sobre efectos de correlación en el núcleo se refiere a niveles de baja excitación. Seguramente por encima de algunos MeV de excitación los modos que conocemos para baja excitación comienzan a mezclarse y los números cuánticos que los caracterizan pierden significado.

En qué punto es el número cuántico K (que caracteriza bandas rotacionales) destruido por las perturbaciones de Coriolis de las bandas vecinas?

Se desarrollan entonces nuevos modos colectivos?

Cuáles son los conceptos apropiados para discutir una región del espectro con muchos cientos de niveles?

Estos son algunos de los interrogantes que surgirán cuando las energías incidentes disponibles alcancen regiones de excitación no exploradas todavía, requiriéndose entonces el modelo estadístico para su descripción y el uso de los modernos aceleradores que se han expuest

2) FISICA DE NEUTRONES

El Ciclotrón Isócrono como fuente de neutrones

Fuente continua de neutrones.

El ciclotrón isócrono puede producir un flujo continuo de neutrones utilizando un blanco de uranio o tungsteno y el haz de deuterones o protones. Un proton de 100 MeV o un deuteron de 50 MeV produce aproximadamente 1 neutron/partícula.

Con un haz externo de 50 μ A se tendrá

$$50\mu A \times 6 \times 10^{12} \frac{\text{part}}{\mu A \text{ seg}} \times 1 \frac{\text{neutron}}{\text{part}} = 3 \times 10^{14} \text{ neutrones/seg}$$

Estos neutrones rápidos tienen un flujo del orden de 6×10^9 neutrones/cm²seg. a una distancia de 1 metro del blanco externo. Pero el hecho de que se trata de un blanco externo permite colocar el material a irradiar a una distancia menor, si se lo considera necesario. Así, a 10cm del blanco hay un flujo de 6×10^{11} neutrones/cm² seg.

USOS

Producción de radioisótopos.

Daños por radiación en sólidos.

Fuente pulsada de neutrones

El ciclotrón isócrono como fuente pulsada de neutrones se utiliza cada vez más para la espectroscopía de neutrones rápidos. Las mejoras en las técnicas de tiempo de vuelo son tales que en muchos casos se pueden resolver grupos de neutrones en un espectro con una precisión comparable a la del análisis de partículas cargadas mediante espectrógrafos magnéticos.

El haz acelerado por el ciclotrón no es continuo, sino que tiene una microestructura, formada por pulsos de 1 nseg separados por 2 nseg

Mediante un deflector que se coloca en la cámara de aceleración, se agrupan estos pulsos de modo que queden más espaciados en el tiempo.

Así, por ejemplo, en el ciclotrón de Karlsruhe se obtienen 2×10^4 pulsos/seg con una intensidad promedio de $3 \mu\text{A}$.

En cada pulso se producen:

$$3 \mu\text{A} \times 6 \times 10^{12} \frac{\text{part}}{\mu\text{Aseg}} \times 1 \frac{\text{neutron}}{\text{part}} \times \frac{1 \text{seg}}{2 \times 10^4 \text{pulsos}} \approx 10^9 \frac{\text{neutron}}{\text{pulso}}$$

De modo que por segundo se produce una intensidad media de

$$10^9 \times 2 \times 10^4 = 2 \times 10^{13} \text{ neutrones/seg.}$$

La intensidad instantánea, teniendo en cuenta que el pulso tiene una duración de 10^{-9} seg:

$$I_p = \frac{10^9 \text{ neutr}}{10^{-9} \text{ seg}} = 10^{18} \frac{\text{neutron}}{\text{seg}}$$

Estas cifras muestran que el ciclotrón como fuente pulsada de neutrones tiene una performance sumamente impresionante.

El uso principal de la misma es para hacer espectrometría de tiempo de vuelo de neutrones rápidos.

Pasaremos a describir rápidamente los parámetros esenciales de los espectrómetros de tiempo de vuelo:

El tiempo de vuelo τ de neutrones a lo largo de una trayectoria L depende de la energía cinética E de los neutrones:

$$\tau = 72.3 L E^{-1/2}.$$

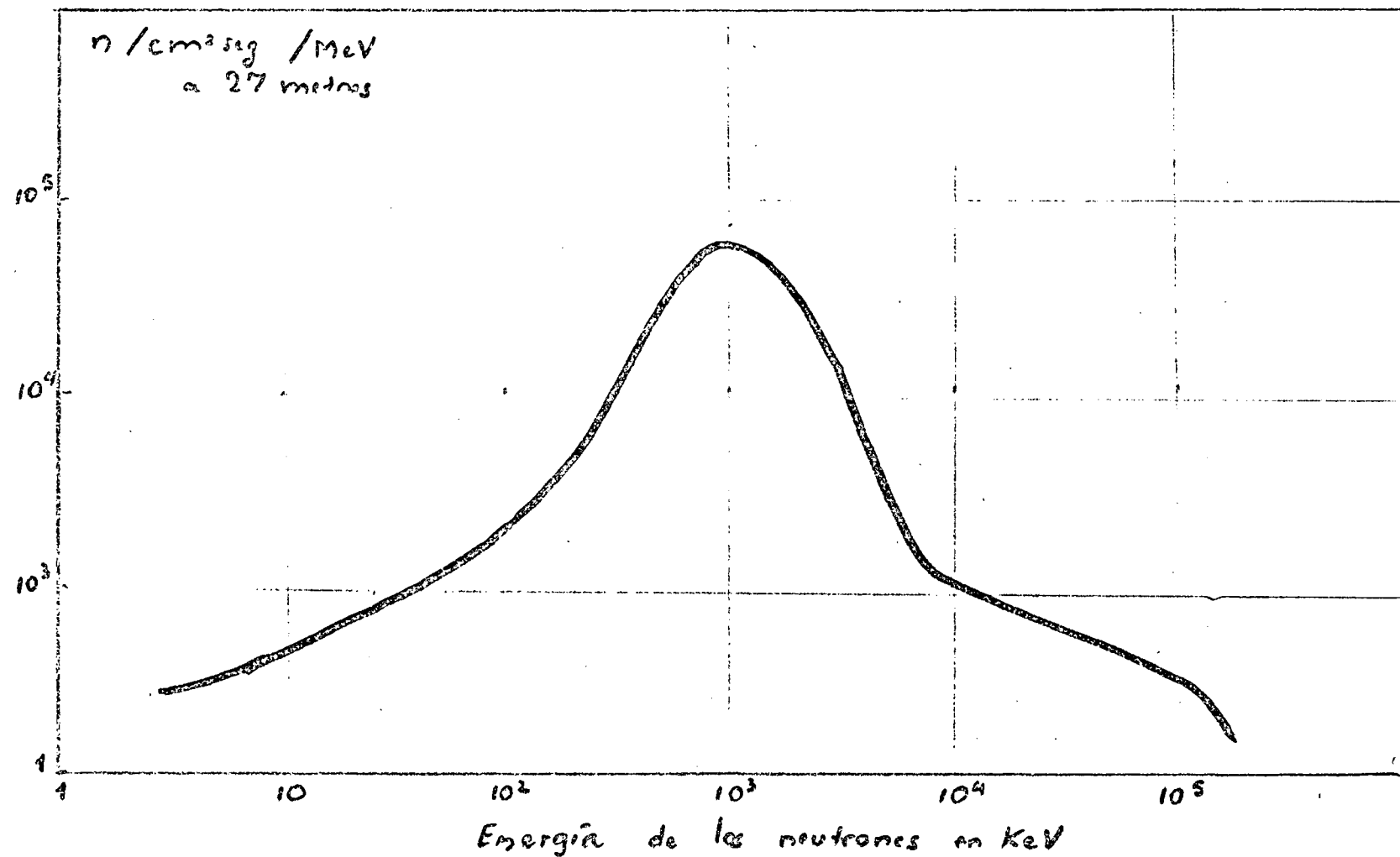
τ (nseg)
 L (m)
 E (MeV)

El poder resolutor de este espectrómetro de tiempo de vuelo, $\frac{\Delta E}{E}$ es proporcional a la resolución en tiempo $\frac{\Delta \tau}{\tau}$

Supongamos que se desplaza un neutrón de 1 MeV en un tubo de 100 metros de largo.

Será entonces $\tau = 7230$ nseg. Si $\Delta \tau$, que depende de la duración del pulso del acelerador, del tamaño del detector, y del equipo electrónico, es de 1 nseg, será $\Delta E/E \approx 1.5 \times 10^{-4}$.

ESPECTRO DE NEUTRONES DE UN CICLOTRON ISOCRONO DE 50 MEV
(HARWELL)



Cuáles son las limitaciones en resolución de energía obtenidas con el método de tiempo de vuelo?

Hay factores tales como el espesor del blanco y la dispersión intrínseca de energía del haz.

Un factor especialmente importante es el que afecta la medición de tiempo. Como la resolución en energía depende de $\Delta\tau/\tau$, podemos aumentarla aumentando τ (o sea aumentando el largo L), o disminuyendo $\Delta\tau$. Teniendo en cuenta que el flujo de neutrones varía inversamente con el cuadrado de L , se ve la ventaja de disminuir $\Delta\tau$.

Es de importancia recordar que ΔE es proporcional a $E^{3/2}$. Por ejemplo si el largo del camino L es 5m y $\Delta\tau = 1$ nseg, al pasar E de 1 MeV a 20 MeV el ΔE pasa de 6 KeV a 500 KeV.

Si se deseara tener un ΔE de 60 KeV para $E=20$ MeV, se requiere un L de 40 metros.

PARAMETROS DE FUENTES DE NEUTRONES INTENSAS

F a c i l i d a d	n por m W seg	τ (seg)	f (Seg. ⁻¹)	I promedio (seg ⁻¹)	I pico (seg. ⁻¹)	N por pulso
LINAC HARWELL (Booster)	2×10^{16}	1×10^{-7}	600	8×10^{13}	1×10^{18}	1×10^{11}
LINAC G.A. (Booster rápido pulsado)	3×10^{16}	1×10^{-5}	100	5×10^{17}	5×10^{20}	5×10^{15}
SICLOTRON HARWELL	7×10^{16}	1×10^{-8}	200	1×10^{13}	5×10^{18}	5×10^{10}
CICLOTRON ISOCRONO KARLSRUHE	8×10^{16}	2×10^{-9}	2×10^4	2×10^{13}	7×10^{17}	1×10^9
REACTOR I.B.	3×10^{16}	4×10^{-5}	83	2×10^{14}	6×10^{16}	2×10^{12}

Proceedings International Conference, Nuclear Structure. (Antwerp 1965), pag. 468.

USOS DE LA ESPECTROMETRIA DE TIEMPO DE VUELO

1) Física Nuclear

La mayor parte de las reacciones nucleares se han hecho con haces incidentes de partículas cargadas. Es de importancia comparar esos resultados con los obtenidos cuando se utilizan neutrones.

El campo de la espectroscopía de neutrones permite estudiar los niveles correspondientes a excitaciones correspondientes a la energía de unión de los neutrones, donde normalmente hay gran cantidad de niveles; así en el caso del ^{238}U , el espaciado de niveles es del orden del eV para una excitación de 5 MeV.

Midiendo el espectro de energía de los rayos emitidos a continuación de la captura neutrónica, se pueden determinar los estados excitados cercanos al fundamental. Este campo ha sido ya estudiado con neutrones térmicos y resta investigar lo que ocurre con neutrones de energía de resonancia.

Las propiedades de niveles excitados que pueden determinarse con la espectroscopía de tiempo de vuelo son:

- a) Espaciado entre niveles, D .
- b) Funciones intensidad de neutrones, por ondas s y p.
- c) Ancho medio de radiación $\bar{\Gamma}_\gamma$
- d) Ancho medio de fisión, $\bar{\Gamma}_F$ y $\bar{\Gamma}_{F/D}$
- e) Radio del potencial de scattering, R'

Otros factores a determinar corresponden a los procesos de captura directa, propiedades de niveles cercanos al fundamental de captura neutrónica por resonancia, etc.

2) Estudio de parámetros de reactores

Las mediciones hechas con esta técnica proporcionan datos para el diseño de reactores nucleares. En general se los puede encuadrar dentro de las cinco categorías siguientes:

a) Espectros dentro de reticulados.

La aplicación más útil del tiempo de vuelo a los reticulados de reactores está en la medición del espectro de neutrones. Una de las partes menos desarrolladas de la física de reactores rápidos es la que concierne a la predicción del espectro de neutrones exacto dentro del reactor. Si bien hay bastante hecho en la región térmica, en la medición de espectros en la zona epitérmica y de resonancia, por tratarse de tiempo de vuelo con neutrones rápidos, el ciclotrón isócrono es el acelerador más adecuado.

b) Datos más exactos para isótopos fisionables.

Se requiere medir σ_{2200} y $\sigma(E)$, tanto para fisión como para captura, y además medición de las cantidades η , ν y α .

c) Datos para absorción de productos de fisión

d) Datos para absorción y dispersión en materiales estructurales

En el caso de los reactores rápidos las mediciones de absorción de productos de fisión no son tan importantes como para los reactores térmicos, pero en cambio los datos para materiales estructurales son de mayor interés.

Además los datos requeridos para reactores rápidos incluyen procesos, tales como el scattering inelástico de neutrones, que son más complejos, y para los que hay menos datos que para los reactores térmicos.

e) Para reactores rápidos y térmicos, datos de scattering.

Estos incluyen $\sigma(E, E')$ y $\sigma(E, E', \theta)$.

3) Física de los Estados Sólido y Líquido

La dispersión de neutrones térmicos presenta muchas oportunidades para la investigación de la estructura y movimiento de átomos en sólidos y líquidos. Los neutrones térmicos son especialmente valiosos porque su longitud de onda es del orden de $2 \text{ \AA}$ y su energía es 0.025 eV , o sea del mismo orden que el espaciado y la energía vibracional en la materia.

En muchas investigaciones es más importante determinar la estructura del sistema atómico y no su dinámica. Esos estudios se realizan con rayos X y con neutrones "rápidos", midiendo en este último caso sea la distribución angular de los neutrones dispersos con un espectrómetro de cristal doble axial, o con un espectrómetro de tiempo de vuelo.

Haciendo mediciones de dispersión inelástica de un haz de neutrones mono energéticos sobre un cristal único, se puede inferir la relación entre el número de onda y la energía del fonón, y determinar así las fuerzas inter atómicas en la red.

El mismo principio puede aplicarse a la dispersión inelástica de neutrones en un líquido.

3) METALURGIA NUCLEAR Y DAÑOS POR RADIACION

En el diseño de reactores nucleares es de gran importancia el conocimiento del daño por radiación en los elementos combustibles y materiales constructivos, y se ha dedicado mucho esfuerzo a estudiar las propiedades mecánicas de los materiales irradiados.

Se ha comprobado en centros nucleares, como Harwell, Oak Ridge y Saclay, que el ciclotrón isócrono es una poderosa fuente de irradiación para determinar estos daños, en muchos casos más adecuada que los reactores destinados específicamente a estudios. Esto se debe a que:

- 1) Un ciclotrón que emite un haz de iones de decenas de microamperes de intensidad y decenas de millones de electrón volts de energía, entrega varios kilowatts al blanco bombardeado; por lo tanto entrega energía a una velocidad mucho mayor que el reactor promedio, acortando así el tiempo necesario para provocar el daño por radiación en un experimento. Así, si se quiere determinar el daño por radiación que se tendrá en un reactor de potencia después de un uso de 20 años, se coloca el material a estudiar en un reactor destinado a ensayar materiales (Materials Testing Reactor), cuyo flujo de neutrones es 10 veces mayor, y por lo tanto el daño podrá estudiarse al cabo de 2 años. La entrega de energía del ciclotrón hace que éste produzca el mismo daño en un día.
- 2) El equipo requerido para irradiaciones en un ciclotrón es mucho más simple que para las que se hacen en un reactor, donde la necesidad de montar muestras en un espacio limitado dentro del núcleo, de conducir dispositivos hacia éstas, y de evitar la salida de neutrones del agujero por el que entra la muestra, conduce a diseños complejos y costosos. Las medidas de seguridad son también menos estrictas en las irradiaciones en un acelerador.

3) Las irradiaciones con partículas cargadas activan menos las muestra que las se efectúan en un reactor, y la activación de los equipos adyacentes a la muestra es también considerablemente menor. En una irradiación con el haz externo del ciclotrón el calentamiento de la muestra puede restringirse a ésta y no al recinto que la rodea, como ocurre en un reactor. Estos factores permiten usar una variedad mucho mayor de materiales en el acelerador.

Actualmente se están utilizando los ciclotrones isócronos en tres tipos de experimentos:

- a) Implantación de iones
- b) Daño por radiación con iones positivos o neutrones
- c) Channeling de iones.

Pasaremos a describir algunas experiencias en ejecución en diversos laboratorios del mundo.

a) Implantación de iones

Se utiliza esta técnica para simular la formación de productos de reacciones nucleares en los elementos combustibles y estructurales en un reactor; en éste el flujo de neutrones produce reacciones (n,p) y (n,α) que tienen una concentración prácticamente uniformemente en dichos materiales. Se ha comprobado que concentraciones de helio que varían entre 10^{-7} y 2×10^{-5} reducen severamente la ductilidad de materiales tales como el acero inoxidable 304, material para reactores rápidos y metal líquido.

En Harwell, donde éstas experiencias han sido hechas por un número considerable de años, se comprobó que las microburbujas de Helio formadas por las reacciones (n,α) en los elementos de un reactor son idénticas a las producidas implantando Helio con un ciclotrón, y que 10 años de radiación en un reactor provocan un daño estructural equivalente al logrado irradiando la muestra durante unas horas con el haz del ciclotrón.

En varios grupos de metalurgia nuclear hay programas de implantación de iones de diversos elementos; así, por ejemplo, en Harwell se están implantando iones de carbono en molibdeno, para estudiar el efecto de cantidades controladas de impurezas intersticiales.

La elección de la partícula para un tipo determinado de daño por radiación depende de muchos factores: así, para un daño uniforme en profundidad usan iones de energía media o alta.

b) Daños por radiación con neutrones o iones positivos. Uso de neutrones.

Se utilizan neutrones o partículas energéticas como proyectiles para desplazar átomos de su posición en la red cristalina del material irradiado.

Un haz de 50 μ A de protones de 100 MeV o de deuterones de 50 MeV produce aproximadamente 3×10^{14} neutrones rápidos por segundo. Estos neutrones se pueden usar para hacer daño por radiación en materiales. El equipo requerido para la irradiación con haz externo en el ciclotrón es mucho más simple que el que se necesita para una irradiación en el reactor, donde hay la necesidad de montar muestras en un volumen limitado del núcleo. En el haz externo del ciclotrón no hay limitación en el espacio, tamaño de la muestra, ni temperatura, y consiguientemente la ejecución de la irradiación requiere dispositivos mucho menos complejos.

Uso de iones positivos

En diversos ciclotrones se utilizan haces de hidrógeno, helio, litio y otros elementos. En Harwell y en Oak Ridge se ha llegado en la tabla periódica hasta acelerar N, O y Ne.

Estos iones se usan como proyectiles para desplazar átomos de la red cristalina del material investigado; eligiendo cuidadosamente el tipo y energía del ión, se puede simular el daño producido por neutrones rápidos o epitérmicos en un reactor.

1) Producción de defectos puntuales

El haz del ciclotrón entrega kilo-watts de energía a un blanco, o sea dosis totales locales equivalentes a las de la vida entera de un reactor en pocas horas. Un estudio comparativo realizado en Harwell muestra que el daño por radiación producido en un reactor diseñado para probar materiales, como el DIDO, se mide en 2×10^{-11} átomos/at.seg. Un ciclotrón que acelere un haz de protones de 10 μ A de intensidad y 50 MeV causa un daño que llega a 2×10^{-6} átomos/at.seg, o sea 100.000 veces mayor.

2) Experimentos de Sputtering a alta energía

Se puede obtener información de secuencias de colisiones atómicas producidas por partículas de alta energía por el estudio de sputtering de átomos proyectados desde la superficie de cristales.

c) Estudios de channeling

Las investigaciones que se están realizando muestran ejemplos de partículas que producen menos daño del que puede esperarse normalmente debido a su penetración a lo largo de ciertas direcciones en la red cristalina, en que hay canales. Estos estudios se hacen midiendo el rango de las partículas en función de la orientación del cristal, o midiendo la amplitud del scattering cuando rota el cristal. En este caso representando la amplitud en función del ángulo de rotación se ven una serie de picos que corresponden a canales a lo largo de los que hay una transmisión preferencial del haz. Con el ciclotrón se emprenden experiencias a un rango mayor de partículas y a flujos de radiaciones mayores.

4) QUIMICA DE RADIACIONES

Pasaremos a discutir tres líneas de investigación de entre las varias posibles en éste campo:

- a) Química de radiación de sistemas heterogéneos
- b) Radiolisis de gases
- c) Efectos de transferencia lineal de energía

a) Sistemas heterogéneos

El diseño de reactores depende de un conocimiento de los efectos de la radiación en los sistemas componentes de un reactor. Hay varios tipos de sistemas heterogéneos que pueden formar parte de un reactor; por ejemplo, la reacción entre CO_2 y grafito en reactores moderados con grafito y enfriados a gas; la corrosión de metales en agua o vapor en reactores con agua; la corrosión de metales en gas de enfriamiento en otros reactores. Todos estos efectos ocurren en un intenso campo de radiación γ y neutrones, y por ello se emplea bastante tiempo en estudiarlos por irradiación en reactores. Es difícil obtener una comprensión fundamental del proceso, ya que tales irradiaciones se efectúan sobre el sistema total, y en general es difícil determinar si los efectos observados se deben a:

- 1) Daño producido en el sólido que aumentan su reactividad.
- 2) Producción de especies reactivas en la fase líquida o gaseosa que reaccionan con el sólido.
- 3) Efectos específicos en la interfase entre dos fases, como por ejemplo en una capa absorbida en el sistema gas-sólido.

La cinética química muestra que pueden ocurrir cualquiera de los tres efectos.

Para aclararlos se puede irradiar en el reactor variando la geometría y cambiando el flujo de la fase móvil, pero la interpretación de los resultados sigue siendo difícil. Si en cambio se usa un acelerador se puede bombardear el sólido solo o la fase gas o líquido antes de que esté en contacto con el sólido, y con las altas dosis obtenibles se pueden producir concentraciones de estado estacionario apreciables del reactivo.

Además, enfocando el haz, se puede restringir la zona irradiada a una región muy estrecha que sea rasante a la superficie entre el sólido y la otra fase.

Un ejemplo típico de estos estudios es el de la reactividad del óxido de magnesio, que normalmente no actúa químicamente con el oxígeno; después de ser irradiado en el vacío con rayos γ o neutrones rápidos, absorbe fuertemente al oxígeno. Se comprobado que los γ producen la ionización y población de los defectos ya existentes en el óxido de magnesio, mientras que los neutrones rápidos producen la población de los defectos y además causan nuevos defectos no solamente en la superficie, sino en todo el volumen.

El ciclotrón se usa para estudiar el daño producido y la reactividad resultante cuando se varía la energía y masa de las partículas bombardeantes, y estudiar así el daño en función de la profundidad.

Usando iones adecuados se pueden introducir iones de impurezas, estudiando su efecto en la reactividad; por ejemplo bombardeando MgO con iones de O , Si con iones de C , etc.

b) Radiolisis de gases

La dosis que se puede aplicar con un acelerador es mayor que la obtenible con fuentes γ o con la radiación $(n+\gamma)$ de reactores, y se puede así estudiar reacciones simples de descomposición donde con dosis bajas no se pueden obtener concentraciones medibles de los productos de reacción.

c) Efectos de transferencia lineal de energía

La deposición de energía de la radiación ionizante cuando atraviesa la materia ocurre en volúmenes discretos ("spurs"). Dentro de éstos se produce ionización y excitación y los iones o especies excitadas pueden reaccionar para producir átomos y radicales, lo que produce un cambio químico. A medida que crece la densidad de ionización, crece la concentración local de iones y especies excitadas, y eso pro-

duce un cambio cuantitativo en los productos de reacción observados cuando se pasa de radiación de partículas livianas (γ , electrones) más pesadas (protones, alfas).

Faltan datos en la zona de radiación de partículas pesadas, que pueden determinarse mediante los haces de iones pesados del ciclotrón.

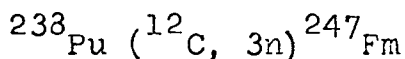
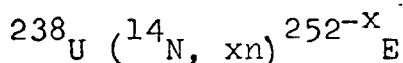
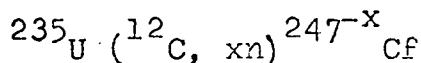
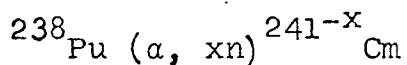
5) QUIMICA NUCLEAR

Se puede dividir el campo en tres categorías principales:

- a) Preparación de nucleídos de elementos pesados para estudios de Química Nuclear o de trazadores.
- b) Análisis por activación
- c) Estudios del proceso de fisión
- d) Química de átomos calientes.

a) Preparación de nucleídos de elementos pesados

Se preparan nucleídos de actínidos deficientes en neutrones bombardeando con iones positivos del haz externo del ciclotrón. Así, se utilizan las reacciones:



Mediante bombardeos de larga duración pueden prepararse también nucleídos de vida larga, útiles como trazadores para estudios químicos tales como el ^{235}Np , ^{236}Np , ^{236}Pu , ^{209}Po y ^{208}Po .

Un haz de 50 μA de protones de 50 MeV produce 1mc de ^{235}Np en 18 horas de irradiación, 1mc de ^{236}Pu en 40 horas y 1mc de ^{208}Po en 2 horas. Se podrían colocar blancos rasantes en el haz externo, de modo de tener un área de 3 a 5 cm^2 .

La cantidad útil obtenible en un área de 3 cm^2 sería de 10 gramos para protones y 1 gramo para deuterones. La producción en el blanco de productos de fisión con una actividad de hasta 50 curies requiere la manipulación $\beta - \gamma$ en una caja blindada, lo que requerirá la instalación de un laboratorio caliente contiguo al ciclotrón.

b) Técnicas de análisis por activación

El uso de un ciclotrón ofrece varias posibilidades para el análisis por activación que no ofrece el reactor.

Una posibilidad es la activación por neutrones rápidos, utilizando el haz externo o interno sobre un blanco de berilio o tantalio. La otra posibilidad es hacer activación con partículas cargadas, utilizando el haz externo.

En este caso el espectro obtenido es mucho más complicado que para la irradiación con neutrones, debido a que ocurren mucho más reacciones nucleares. Pero la técnica de análisis por activación con neutrones no puede ser aplicada fácilmente a elementos livianos tales como C, O y N. Si se dispone de ambos tipos de haz, se tiene una variedad infinita de posibilidades.

c) Estudios de procesos de fisión

Se puede utilizar el ciclotrón para obtener información sobre reacciones independientes de fisión para nucleidos de vida corta, y sobre sus espectros β y γ . Se pueden hacer separaciones rápidas, mediante un separador electromagnético de isótopos, y determinar características para isótopos muy alejados de la línea de estabilidad.

El ciclotrón, con su energía elevada y corriente intensa es muy adecuado para estudiar estos nucleidos, y determinar la distribución de masa y energía cinética de los fragmentos de fisión, y para detectar y medir los isómeros de fisión.

d) Química de átomos calientes

La gran ventaja del ciclotrón con respecto a otros aceleradores que proporciona un flujo de neutrones rápidos muy alto y con energías suficientemente elevadas como para dar buen rendimiento de ^{11}C , ^{13}N y ^{18}F .

La química de átomos calientes del carbono ha sido estudiada extensamente, en base a la reacción $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$, lo que requiere la adición de un compuesto de nitrógeno, que complica el sistema químico, y requiere además la irradiación en un reactor, lo que causa un serio daño por radiación. El uso de la reacción $^{12}\text{C}(n,2n)^{11}\text{C}$ posibilita estudiar reacciones de átomos calientes de carbono en un

sistema con un solo componente químico, y evitar así la mayor parte del daño por radiación.

El uso de ^{11}C es importante en la química del átomo caliente de compuestos orgánicos.

Es de interés también el uso del ^{13}N y el ^{18}F , para estudiar compuestos de amonio, hidrazina, nitratos y compuestos fluorados.

6) PRODUCCION DE RADIOISOTOPOS

Los ciclotrones fueron los principales productores de radioisótopos hasta el fin de la segunda Guerra Mundial.

El desarrollo subsiguiente de los reactores nucleares trajo aparejada la producción de radioisótopos mucho más abundante y menos costosa. Pero el creciente uso de preparaciones radioactivas hace que nuevamente se utilicen ciclotrones para su producción, en especial de aquellos radioisótopos que no pueden ser producidos en el reactor con actividad específica suficiente, como el ^{65}Zn , ^{74}As o aquellos que producidos en el reactor tienen propiedades nucleares desfavorables para utilizarlos como trazadores (vida media muy corta o larga, decaimiento inadecuado), como ^{22}Na , ^{52}Mn , ^{48}V , ^{85}Sr , ^{57}Co .

Por otra parte, cuando se requiere un isótopo de vida media no muy corta, en cantidades muy pequeñas, su producción en el ciclotrón puede ser más barata que en el reactor.

En base a los datos publicados por el Directorio Internacional de Radioisótopos, OIEA (1962) sabemos que los isótopos producidos comercialmente por ciclotrones en el mundo son:

^7Be , ^{22}Na , ^{28}Mg , ^{26}Al , ^{48}V , ^{52}Mn , ^{54}Mn , ^{57}Co , ^{65}Zn , ^{67}Ga , ^{58}Ge , ^{85}Sr , ^{88}Y , ^{109}Cd , ^{139}Ce , ^{181}W , ^{195}Au , ^{206}Bi , ^{207}Bi .

Todos estos tienen vidas medias de días hasta años de duración. Ecuanto a los isótopos de vida corta, de algunos minutos hasta horas de duración, utilizados en la medicina, se los detalla en el capítulo correspondiente a la biología.

7) BIOLOGIA

Los haces de protones e iones pesados de alta energía que proporciona el ciclotrón isócrono tienen muchas aplicaciones en investigaciones biológicas asociadas con las propiedades de ionización específica de estas partículas. Se los utiliza en:

- a) Estudio del efecto de haces de partículas cargadas de alta energía sobre diferentes tejidos animales, para su posterior análisis histológico e histoquímico.
- b) Producción de radioisótopos de vida muy corta para usos médicos. Es evidente el creciente uso de estos isótopos por parte de los médicos debido a las ventajas siguientes:
 - 1) La dosis que recibe el organismo es considerablemente menor que cuando se utilizan isótopos de vida larga.
 - 2) Se pueden suministrar dosis altas, lo que trae aparejada una mayor precisión en las mediciones.
 - 3) Se puede repetir la aplicación con mayor frecuencia.
 - 4) Los problemas de contaminación del lugar y las medidas de seguridad son mínimas.

La lista que sigue, basada en el artículo de Clark et al. en *Nucleonics* 25 (1967) 54, detalla algunos de los radioisótopos producidos en el ciclotrón de Hammersmith, y sus aplicaciones médicas.

Radioisótopo

Aplicación Médica

CO_2^{15}

Detección de shunts del corazón y medición de flujo sanguíneo regional del pulmón.

N_2^{13}

Ventilación regional del pulmón y flujo sanguíneo.

C^{11}O_2

Pozos de CO_2 y control de ventilación.

C^{11}O

Volumen sanguíneo.

F^{18}	Detección de lesiones óseas.
KBF_4^{18}	Mapas cerebrales.
Cs^{130}	Flujo coronario y mapas del corazón
I^{123}	Estudio de tiroides
Fe^{52}	Absorción de hierro y estudio de médula
Cu^{64}	Alta actividad específica
Kr^{81m}	Solución de gas inerte para estudios de flujo sanguíneo.

cap VII

VII - DATOS Y CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

Los recintos e instalaciones de apoyo para el acelerador, hacedores externos y áreas experimentales consistirán de:

1. Un edificio para la facilidad experimental, apropiado para extensiones futuras, que contendrá el acelerador y las áreas experimentales.
2. Un conjunto de oficinas, laboratorios y talleres, colocado de manera tal de dejar libres las futuras extensiones de la facilidad experimental. Este conjunto deberá quedar completado antes de la facilidad experimental principal para albergar permanentemente el equipo de desarrollo de la facilidad para mejor eficiencia de la etapa de construcción del acelerador.

Se pasa a detallar las características pertinentes del proyecto

a) Area Requerida

- Ciclotrón:

Rectángulo de $(46 \times 55) \text{ m}^2 = 2.500 \text{ m}^2$

Está compuesto de las siguientes áreas:

- 1) Recinto del ciclotrón $(21 \times 13) \text{ m}^2$
- 2) Area experimental $(14 \times 9) \text{ m}^2$
- 3) Area experimental $(14 \times 9) \text{ m}^2$
- 4) Area espectrógrafo magnético $(15 \times 20) \text{ m}^2$
- 5) Area grupo Generador
- 6) Area de control, en un primer piso ubicado sobre el área 5
- 7) Subsuelo, debajo del área 5), para la sala de bombas.
- 8) Subsuelo, debajo de las áreas 1) a 4).

Las paredes que separan el recinto del ciclotrón de las áreas experimentales y espectrógrafo magnético tienen 3m de espesor, y son de hormigón denso en algunas partes.

El edificio del ciclotrón está rodeado de un muro de tierra que hace de blindaje.

El recinto del ciclotrón tiene una altura de 9 metros. El subsuelo tiene 3 metros de altura útil.

- Edificio laboratorios, facilidades auxiliares y zona de control de seguridad.

Está adosado al del ciclotrón formando una L. Tiene 2 plantas, con un área de $(25 \times 80) \text{ m}^2$ cada una. En la planta baja de este edificio estará el taller mecánico, taller de electrónica, depósitos de materiales, laboratorios de radioquímica, de análisis por activación, de preparación de blancos, de detectores de estado sólido y laboratorios auxiliares, además del área de control de seguridad.

En la planta alta: biblioteca y sala de seminarios, cuartos de los usuarios del ciclotrón, oficina de ingeniería electrónica.

La altura de este edificio será de 8 a 9 metros.

- El área total ocupada por los dos edificios es entonces de 4.500 m^2 . Hay 6.500 m^2 cubiertos.

b) Altura de Edificios

Ambos edificios tendrán una altura máxima de 9 metros.

c) Cargas Concentradas

El ciclotrón, de 500 toneladas de peso, tiene una base de aproximadamente 3×3 metros.

d) Piezas más pesadas

El espectrógrafo magnético y el imán desviador tienen un peso de 20 toneladas cada uno, con una base de aproximadamente $2 \times 2 \text{ m}$.

e) Requerimientos de agua de refrigeración

Total: $30 \text{ m}^3/\text{h}$ de agua filtrada.

Este caudal se utilizará para disipar el calor del sistema primario de refrigeración del ciclotrón para el sistema de aire.

acondicionado (conectado separadamente), y para los sistemas primarios de refrigeración del espectrógrafo magnético, imán deflector múltiple, cuadрупolos.

La temperatura del agua de refrigeración debe estar entre 15 y 19°C; si es necesario se proveerá de una máquina enfriadora con ventiladores eléctricos para el circuito primario.

El sistema de refrigeración secundario del ciclotrón es un circuito cerrado.

El agua en este sistema se enfría mediante una unidad refrigerante, el agua pasa, luego de circular por las bobinas del ciclotrón, a través del intercambiador de calor del sistema primario, y retorna a la unidad refrigerante a través de la bomba de recirculación.

f) Requerimientos de fuerza motriz

El consumo estimado es de 1.600 kVA.

La instalación de fuerza motriz comprende 2 grupos convertidores de corriente alterna a continua de 800 kVA para la alimentación del ciclotrón, espectrógrafo magnético, imán deflector múltiple y cuadрупolos, operados a control remoto: llaves magnéticas y transformadores trifásicos para los circuitos de alimentación.

Tres transformadores trifásicos de 13,2 KV a 220/380 V, con 800 kVA cada uno, para la alimentación principal, Uno de ellos es de emergencia. Un grupo generador Diesel de emergencia de 200 kVA y 220/380 V, al que se conectarán todas las cargas que deben permanecer en operación durante cortes de tensión: sistemas de refrigeración, circuitos de seguridad, luz, etc.

Uno de los transformadores trifásicos de 800 kVA alimenta al ciclotrón, y compensa variaciones de tensión de hasta $\pm 15\%$.

g) Otros requerimientos esenciales

No se conocen.

h) Riesgo Radiactivo

El blindaje estará construido de modo tal que el fondo por neutrones térmicos no sea mayor de 12 neutrones por cm^2 y segundo en los lugares de permanencia del personal, en el edificio del ciclotrón.

Para la eliminación de sustancias radiactivas se dispondrá de:

1) Para contaminación del aire:

El aire potencialmente radiactivo que circule por el edificio del ciclotrón será filtrado antes de descargarse a la atmósfera.

El recinto de control, y el de contaje, que están dentro de edificio del ciclotrón, serán conectados a un sistema separado de aire acondicionado.

Para la sala de fuerza motriz del ciclotrón se instalará un sistema de ventilación separado, con el objeto de asegurar que las grandes cantidades de calor de este recinto se eliminen adecuadamente.

2) Para contaminación del agua

Se instalará un sistema de colección de desperdicios radiactivos líquidos, destinado a recoger todo desperdicio líquido contaminado con radiactividad que se encuentre en la planta previendo así la contaminación de las aguas cloacales.

El sistema consiste de:

a) Una estación de colección y bombeo en el edificio del ciclotrón, y otra en el de laboratorios.

b) Un sistema de 2 o más tanques de 2 ó 3 m^3 cada uno, y uno de 5 m^3 , para recoger los líquidos contaminados antes de descargarlos al sistema cloacal.

Cada tanque deberá incluir una bomba, válvulas, filtros un dispositivo para muestreo.

c) Un equipo para transmitir las señales de alto nivel de actividad al recinto de control.

3) Contaminación del suelo

No se prevé un aumento significativo de la actividad en el suelo.

Transporte del material radiactivo

Para el transporte de material radiactivo se podrá instalar un sistema de tubos neumáticos, o un sistema de transporte de rieles, según cuales sean los requerimientos del grupo de preparación de radioisótopos.

Protección y monitoraje de la radiación

El sistema de protección del personal se instalará para toda área en que se pueda encontrar radiación gamma o durante la operación del ciclotrón. El sistema actúa sobre la máquina, y corta la radiofrecuencia, con lo que deja de haber haz, cuando entra una persona en el área controlada.

Todas las puertas de acceso al área controlada tienen luces indicadoras de que el ciclotrón está en operación.

Antes de poner en operación a la máquina el físico responsable deberá asegurarse de que no hay nadie en el área controlada, y operará la llave maestra para iniciar la irradiación.

Para el monitoraje se instalarán monitores fijos de gammas y neutrones en el recinto del ciclotrón, las áreas experimentales y el acceso a las mismas.

Los datos de la medición se transmitirán en forma continua al recinto de control, donde se graficarán automáticamente, los monitores deberán tener contactos que inicien una alarma si el límite permisible de la radiación es excedido, y corten la radiofrecuencia, cesando así la irradiación.

Se instalarán contadores de alfa, beta y gamma para manos y pies a la salida del recinto del ciclotrón y de las áreas experimentales.

En la entrada del sistema de descarga a la atmósfera del aire radiactivo que sale del recinto del ciclotrón y áreas experimentales, se instalará un monitor de aire, que detectará la cantidad de tritio y de todos los otros tipos de materiales radiactivo presentes.

La actividad de los desechos radiactivos líquidos se controlará por análisis de las muestras extraídas del sistema colector.

i) Personal Previsto

Es difícil hacer una estimación precisa de la cantidad total de científicos que trabajarán con el ciclotrón isócrono. El siguiente es un cálculo conservativo y aproximado:

Física Nuclear

Personal estable del Laboratorio del Ciclotrón Isócrono: 15

Personal de otros laboratorios de física nuclear de CNEA: 15

Física de Estado Sólido

Personal del Departamento de Metalurgia de CNEA: 6

Radioquímica

Personal del Departamento de Producción de Radioisótopos de CNEA: 5

Cristalografía y Fisicoquímica de las Radiaciones

Personal del Departamento de Radiaciones Atómicas y Moleculares de CNEA: 4

Análisis por Activación

Personal del Departamento de Química de CNEA: 10

Biología

Personal del Departamento de Radiobiología de CNEA: 5

No se han incluido en estas cifras los estudiantes universitarios no graduados, ni los estudiantes graduados que estén realizando tesis, que se estima serán de 10 a 20 personas.

Departamento de Física de las Universidades Nacionales

Se espera que las Universidades de Buenos Aires y La Plata envíen estudiantes no graduados para realizar trabajos de investigación, estudiantes graduados para realizar tesis, además de los físicos nucleares que integran esos Departamentos.

Instituciones Extranjeras

Se prevé la colaboración con Instituciones Latino Americanas y además de Alemania, Francia y Estados Unidos, lo que involucrará la presencia durante períodos de semanas a un año de científicos de otros países que vendrán a realizar programas de investigación, además de los becarios y estudiantes graduados de esos países.

Personal para la Operación y Mantenimiento del Ciclotrón Isócrono

Equipos eléctricos y mecánicos: 2 ingenieros, 8 técnicos

Equipos electrónicos: 2 ingenieros, 3 técnicos

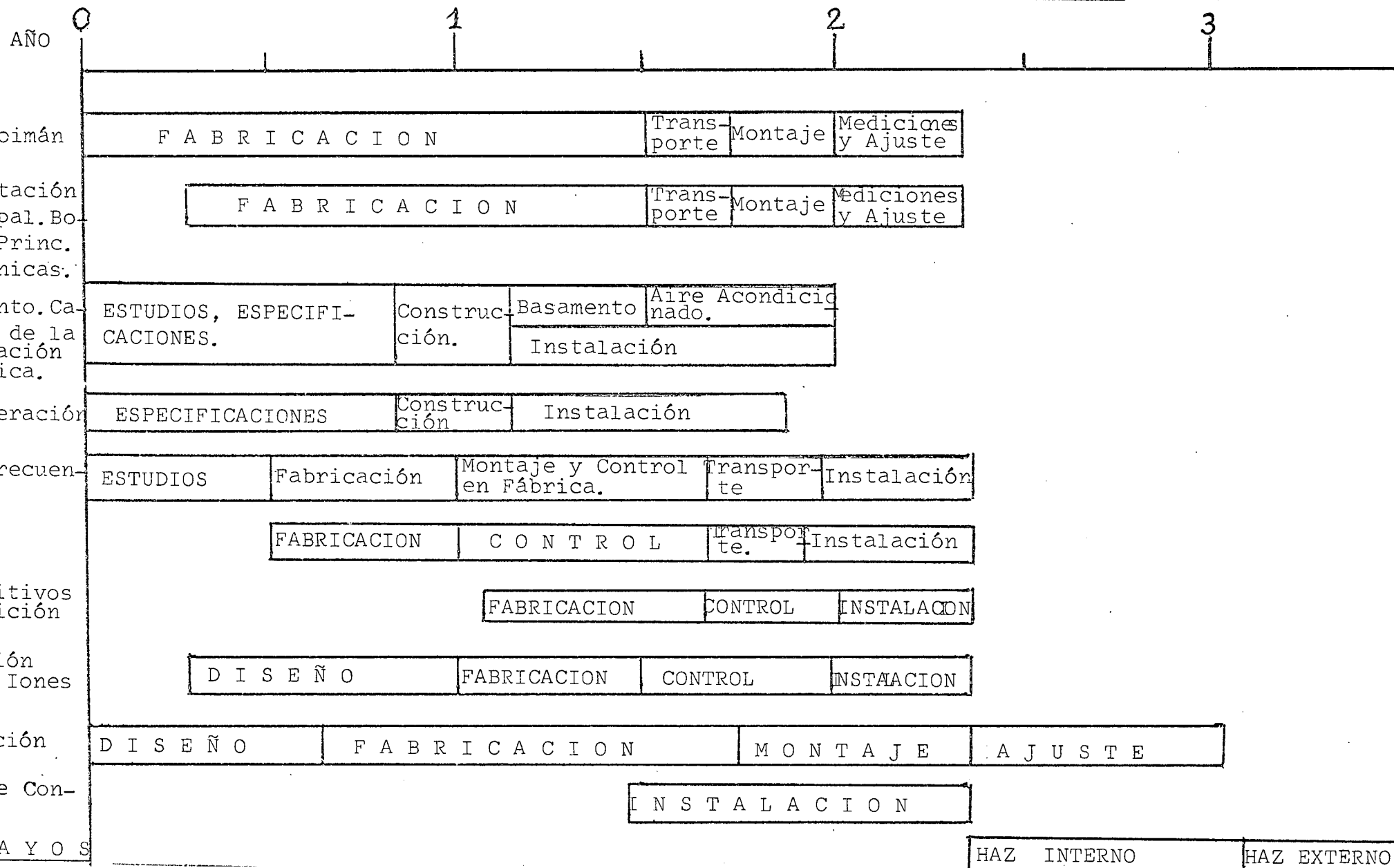
Computación: 1 profesional, 1 técnico

Personal de Limpieza: 2

Administración: 1 secretaria

El total aproximado de personas que trabajarán en el edificio del ciclotrón será de 50, más los usuarios de otros laboratorios.

PROGRAMA DE CONSTRUCCION Y MONTAJE DEL CICLOTRON



VIII - ESTUDIO ECONOMICO DEL PROYECTO DE INSTALACION DEL CICLOTRON ISOCRONO

A: INVERSION

Costo de la Máquina (A financiar)

Ciclotrón de Energía variable	u\$s.	3.200.000.=
Sistema de fuente de iones externa	"	110.000.=
Sistema control automático	"	100.000.=
Transporte a Buenos Aires	"	180.000.=
	u\$s.	<u>3.590.000.=</u>

Sistemas auxiliares (a construir en el país)

Sistema transporte del haz y espectrógrafo magnético

Materiales	u\$s.	200.000.=	
Refrigeración, grúas, etc.			\$ 350.000.=
Grupos generadores, estabilizadores, etc.	"	300.000.=	
	u\$s.	<u>500.000.=</u>	<u>\$ 350.000.=</u>

Edificio

Edificio para ciclotrón (2.500 m ²)		\$1.500.000.=
Edificio para laboratorios y talleres (4.000 m ²)		"2.400.000.=
		<u>\$3.900.000.=</u>

Totales Parciales	u\$s.	4.090.000.=	\$4.250.000.=
Totales Parciales en Pesos Ley 18.188:	\$	16.360.000.=	\$4.250.000.=
Total General en Pesos Ley 18.188:			<u>\$ 20.610.000.=</u>

B: INVERSION MAS INTERESES

Costo total ciclotrón y edificio:

\$ 20.610.000.=

Intereses:

" 4.106.960.=

\$ 24.716.960.=

C: PERSONAL

Año	Personal actual que se destina al proyecto.	Personal a Incorporar	Costo Anual \$
0	SAMETBAND M.J. (A-5) ERRAMUSPE H.J. (A-6) 50% tiempo		66.000.=
1	Idem, más ERRAMUSPE H.J. (A-6) 50% tiempo SINDERMAN J.E. (A-9) FAZZINI N.A. (A-11) FERRERO A.M.J. (A-12) CEBALLOS A.E. (A-10) DIAZ ROMERO A. (B- 8)	Ing° Mecánico A-12	199.000.=
2.	Idem. más TESTONI J.E. (A- 9) DRAGUN O.M. (A-11) SOFIA H.M. (A-12) ARDITO R. (AC-12) RODRIGUEZ J.C. (B-10) IETRI B.G. (B-10) PROFESSI M. (B-10) BOLAÑOS C.A. (B-10) RISO J.M. (B-13) RECIO M.C. (B-15)		334.600.=

C: PERSONAL

Año	Personal actual que se destina al proyecto.	Personal a Incorporar	Costo Anual \$
3	Idem, más	1 Físico A-12	
	MARISCOTTI, M. (A-10)	1 Técnico B-14	
	CAMIN, D.V. (A-12)		
	GARANZINI, J. (B- 9)		
	CORALO J.J. (B-11)		
	MORALES A.R. (B-14)		
	TAU S. (B-14)		438.000.=
	GOMEZ D.B. (E-I)		
	de BRASI O. (E-III)		
	CORVALAN J.M. (E-I)		
4	Idem, más		
	MAQUEDA E.E. (A- 9)		
	PERAZZO R.P.J. (A-10)		
	DUSSEL G.G. (A-10)		568.000.=
	REICH S.L. (AC-12)		
	GORDON M. (B-14)		

A partir del año 5, se mantiene al personal básico anterior y tiene lugar un crecimiento vegetativo fijado por la actividad desarrollada y que está expresado en D.

D: INCIDENCIA PRESUPUESTARIA

Cálculo del costo por hora de irradiación en el ciclotrón isocrono

De acuerdo a las conversaciones mantenidas con las firmas fabricantes de ciclotrones, e independientemente con el personal científico de laboratorios de ciclotrones de: HARWELL, OAK RIDGE, KARLSRUHE, SACLAY, BROOKHAVEN y ARGONNE, se considera que el plantel necesario para la operación y mantenimiento del ciclotrón isocrono debe ser del orden de 4 ingenieros y 12 técnicos. Actualmente el Laboratorio del Sincrociclotrón tiene un personal técnico de 1 ingeniero electromecánico, 2 ingenieros electrónicos, 7 técnicos electromecánicos y 3 técnicos electrónicos; habría que agregar por lo tanto 1 ingeniero y un técnico electromecánicos para completar el plantel necesario. La administración se realizará mediante 1 secretaria, y el personal de limpieza constará de 2 personas, los tres ya existentes en la actualidad.

El presupuesto anual para el total del personal técnico, administrativo y de limpieza se calcula, en base a los sueldos percibidos actualmente, en \$ 202.000.= Los gastos de mantenimiento se calculan en \$ 40.000 anuales.

El consumo de corriente eléctrica, en base a una tarifa de \$ 0,12/KWH, para la potencia instalada de 1200 KVA, será de \$ 144,= por hora. Se considera que un uso normal del acelerador significará 10 horas diarias de irradiación, 5 días semanales, durante 48 semanas por año. Las 4 semanas restantes se destinarán al mantenimiento anual de la instalación.

Por lo tanto se irradiará durante 2400 horas anuales.

El costo será entonces:

Personal técnico	\$ 202.000.=
------------------	--------------

Mantenimiento	" 40.000.=
---------------	------------

Total de 2400 horas de irradiación: \$ 242.000.=

o sea \$ 100 por hora

más \$ 144 de consumo de electricidad

\$ 244 por hora de irradiación.

Comparación con el Sincrociclotrón actualmente en uso

El personal técnico actual percibe \$ 180.000.= por año. Los gastos de mantenimiento son de \$ 30.000.= por año. El consumo de electricidad es de 600 KVA, que a \$ 0.12 por KWH, significa \$ 72 por hora.

Se considera que se puede irradiar como máximo 40 horas semanales, ya que el mantenimiento de esta máquina, por su desgaste, requiere un mínimo de 10 horas semanales. Se requieren también 4 semanas para el mantenimiento anual, de modo que se puede irradiar un máximo de 48 semanas, o sea 1920 horas por año.

El costo por hora es entonces

Personal técnico	\$ 180.000.=
------------------	--------------

Mantenimiento	\$ 40.000.=
---------------	-------------

Total de 1920 hr.de irradiación.	\$ 220.000.=
----------------------------------	--------------

o sea \$ 115.= por hora

más \$ 72.= de consumo de electricidad

Total \$ 187.= por hora de irradiación.

Como puede verse, el costo por hora de irradiación es solamente un 30% mayor. Por otra parte, el haz de partículas entregado por el Sincrociclotrón tiene una intensidad de 15 μ A (haz interno), mientras que el haz interno del ciclotrón isocrono es de 100 μ A. Por lo tanto la producción de un radioisótopo que requiera un total de, por ejemplo, 100 μ A.hora, necesitará una hora de irradiación en el ciclotrón isócrono, contra 7 horas en el Sincrociclotrón. El costo será enton-

ces de \$244.= en el primero, y de \$ 1.309.= en el Sincrociclotrón. La disminución de costos se hace aún mayor si se utiliza el haz externo, lo que es mucho más ventajoso por numerosas razones. En éste caso, el haz externo del Sincrociclotrón no puede ser superior a $1\mu\text{A}$, mientras que el del ciclotrón isocrono es de más de $40\mu\text{A}$.

Las mismas consideraciones pueden hacerse si en lugar de producir isótopos, se desea hacer daño por radiación mediante el haz externo de alfas, carbono, neutrones, etc.: en mucho menos tiempo puede lograrse el resultado buscado.

En cuanto al uso para física nuclear, se obtiene así mucho mayor información de los procesos nucleares a igualdad de tiempo de irradiación.

Incidencia del Ciclotrón Isócrono sobre el Presupuesto del Departamento de Física Nuclear.

En la actualidad el Departamento de Física Nuclear agrupa un total de 25 físicos, 6 ingenieros, 20 técnicos electromecánicos y electrónicos, 1 técnico en computación y 2 auxiliares, 2 secretarias y 4 ordenanzas. El presupuesto anual se detalla así:

Sueldos Personal	\$ 750.000.=
Mantenimiento	" 50.000.=
Gastos Equipamiento	" 130.000.=
Becas internas, computación	" 207.000.=
Viajes exterior, contratos profesores extranjeros.	" 35.000.=
Consumo de Electricidad	" 150.000.=
Presupuesto Total Anual	<u>\$1322.000.=</u>

Una vez puesto en funcionamiento el ciclotrón isócrono, se estima que a los gastos en personal actuales se sumarán los de 2 físicos, 1 ingeniero y 1 técnico. Habrá por lo tanto un total de 27 físicos, 7 ingenieros, 24 técnicos y 6 auxiliares. El presupuesto anual del Departamento pasará a ser entonces:

Sueldos Personal	\$ 800.000.=
Mantenimiento	" 70.000.=
Gastos Equipamiento	" 450.000.=
Becas internas, computación	" 230.000.=
Viajes exterior, contratos profesores extranjeros.	" 40.000.=
Consumo de Electricidad	" 350.000.=
Presupuesto Total Anual	<u>\$ 1.940.000.=</u>

Esta cifra concuerda con la estimación usual del costo anual de operación de una facilidad de éste tipo, que es del orden de 10% del costo total de la facilidad (\$20.000.000.= en éste caso).

Este porcentaje puede comprobarse en la publicación "Isochronous Cyclotrons- 1969", realizada por F.T.Howard, de Oak Ridge, quien detalla entre otras cosas el presupuesto anual y el costo de la instalación de cada uno de los ciclotrones isócronos actualmente en operación:

Ciclotrón	Costo Instalación	Presupuesto Anual	%
Orsay	10×10^6 F.	$0,4 \times 10^6$ F.	4
Grenoble	5×10^6 u\$s.	$0,86 \times 10^6$ u\$s.	17
Saclay	12×10^6 F.	$1,3 \times 10^6$ F.	11
Hamburgo	3×10^6 u\$s.	$0,15 \times 10^6$ u\$s.	5
Milan	1×10^6 u\$s.	$0,08 \times 10^6$ u\$s.	8
Oak Ridge	5×10^6 u\$s.	$0,83 \times 10^6$ u\$s.	16
Princeton	3×10^6 u\$s.	$0,35 \times 10^6$ u\$s.	10
Texas	$5,9 \times 10^6$ u\$s.	$0,5 \times 10^6$ u\$s.	9
Berkeley	$6,5 \times 10^6$ u\$s.	$0,9 \times 10^6$ u\$s.	15

Los ciclotrones con un presupuesto mayor del 11% del costo, irradian durante más de 20 horas diarias, 7 días por semana (Oak Ridge, Grenoble, Berkeley), debido a que dedican muchas horas diarias a la producción de radioisótopos y a la investigación de daños por radiación para metalurgia.

Se deduce entonces que con un aumento en el presupuesto del Departamento de solamente un 50%, o sea \$ 620.000.=, se pasará a disponer de una facilidad que lo colocará en un nivel internacional para cumplir sus fines.

E:

CUADRO DE RECURSOS ENTRE LOS AÑOS 0 Y 20 PARA LA INSTALACION,

OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL ACELERADOR DE 130 MeV.

AÑO	Pago del Ciclotron		Edificio \$	Sistemas Auxiliares		Presupuesto de Funcionamiento del acelerador (ver nota I)		Totales Parciales Anuales		TOTAL GENERAL ANUAL \$
	Cuota (ver nota III) u\$s	Intereses (ver nota IV) u\$s		u\$s	\$	Personal (ver nota II) \$	Mantenimiento y energía eléctrica \$	u\$s	\$	
0	359.000					57.000		359.000	57.000	1.493.000
1			2.000.000	150.000		164.000		150.000	2.164.000	2.764.000
2			1.900.000	75.000	350.000	234.000		75.000	2.484.000	2.784.000
3	359.000			275.000		294.000		634.000	294.000	2.830.000
4	287.200	186.680				202.000	75.000	473.880	277.000	2.172.000
5	287.200	168.012				202.000	75.000	455.212	277.000	2.097.848
6	287.200	149.344				202.000	75.000	436.544	277.000	2.023.176
7	287.200	130.676				202.000	75.000	417.876	277.000	1.948.504
8	287.200	112.008				202.000	75.000	392.208	277.000	1.873.832
9	287.200	93.340				212.000	85.000	380.540	297.000	1.829.160
10	287.200	74.672				212.000	85.000	361.872	297.000	1.744.488

Año	Pago del Ciclotron		Edificio \$	Sistemas Auxiliares		Presupuesto de Funcionam. del acelerador (nota I)		TOTALES PARCIALES ANUALES		TOTAL GENERAL ANUAL \$
	Cuota Ufs Ver nota III)	Intereses Ufs Ver nota IV)		Ufs	\$	Personal (nota II) \$	Mantenim. y en. electric. \$	Ufs	\$	
11	287.200	56.004				212.000	85.000	343.204	297.000	1.669.816
12	287.200	37.336				212.000	85.000	324.536	297.000	1.595.144
13	287.200	18.668				212.000	85.000	305.868	297.000	1.520.472
14 a 20						222.000	95.000		317.000	317.000
						222.000	95.000		317.000	317.000

NOTAS:

- I) Se detalla aquí el presupuesto de funcionamiento del ciclotrón, que comprende: 1) Sueldos del personal dedicado exclusivamente al acelerador, y no a tareas de investigación en que se utiliza el mismo; en los 3 primeros años, parte del personal científico se dedicará al diseño y puesta a punto del mismo. 2) Gastos de mantenimiento y consumo de energía eléctrica del ciclotrón, excluyendo equipamiento para tareas de investigación en que se utilice al mismo.
- II) Se señala que el presupuesto de gastos en personal es básicamente el actual, ya que como se detalla en el punto C, solamente habrá que incorporar un ingeniero y un técnico electromecánico.
- III) Los cálculos corresponden al cuadro de costos detallado en A y a la forma de financiación que se considera fácilmente obtenible de acuerdo con las conversaciones mantenidas hasta el presente.
- IV) Se ha supuesto pago de intereses a plazo vencido.

CUADRO DE RECURSOS ENTRE LOS AÑOS 0 Y 20 PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL

DEPARTAMENTO DE FISICA NUCLEAR DOTADO DEL CICLOTRON ISOCRONO.

AÑO	Cuotas Instalacion Ciclotron Isocrono \$	Presupuesto de Investigacion y Man- tenimiento del Departamento \$	Total General Anual \$	% incremento sobre el presu- puesto 1970
0	1.436.000	1.322.000	2.758.000	107
1	2.600.000	1.359.000	3.959.000	199
2	2.550.000	1.420.000	3.970.000	200
3	2.536.000	1.500.000	4.036.000	203
4	1.895.000	1.880.000	3.775.520	185
5	1.820.848	1.940.000	3.760.848	183
6	1.746.176	1.940.000	3.686.176	177
7	1.671.504	1.940.000	3.611.504	172
8	1.596.832	1.940.000	3.536.832	165
9	1.522.160	1.960.000	3.482.160	162
10	1.447.488	1.960.000	3.407.488	157

Año	Costos Instalación Ciclotrón Isócrono \$	Presupuesto de Investigación y Mantenimiento del Dep. \$	TOTAL GENERAL ANUAL \$	% Incremento sobre el presupuesto 1970
11	1.372.816	1.960.000	3.332.816	150
12	1.298.144	1.960.000	3.258.144	146
13	1.223.472	1.960.000	3.183.472	139
14 a 20		1.980.000	1.980.000	49

NOTAS:

- I) En el año 1970, el presupuesto del Departamento de Física Nuclear sin ciclotrón isócrono, es de \$ 1.322.000. (Ver punto D).
- II) Una vez pagada la instalación del ciclotrón, el presupuesto del Departamento de Física Nuclear es de \$ 1.980.000.=, lo que significa un aumento del 50% respecto del presupuesto del año 1970 sin ciclotrón isocrono (ver punto D).

Apéndice A

Actividad Científica del Laboratorio

APENDICE A.

ACTIVIDAD CIENTIFICA DEL LABORATORIO

FISICA NUCLEAR:

- 1a. - Trabajos realizados utilizando el Laboratorio del Sincrociclotrón de 28 MeV.
- Ib. - Trabajos realizados por miembros del Laboratorio enviados por éste en viaje de perfeccionamiento a otros centros de investigación.
- Ic. - Comunicaciones a congresos y reuniones científicas argentinas o internacionales.
- Id. - Tareas docentes realizadas por personal del Laboratorio.
- Ie. - Trabajos de Seminario y Tesis realizados por personal del Laboratorio.
- If. - Becas internas de perfeccionamiento.
- Ig. - Viajes de estudio y de participación en congresos internacionales del personal.
- Ih. - Visitas al Laboratorio de científicos del exterior.

QUIMICA NUCLEAR:

- IIa. - Publicaciones de Química Nuclear.
- IIb. - Comunicaciones a Congresos y reuniones científicas de Química Nuclear.

MEDICINA Y BIOLOGIA NUCLEAR:

- III - Comunicaciones a Congresos y reuniones científicas de medicina y biología.

I - FISICA NUCLEAR

Ia.- TRABAJOS REALIZADOS UTILIZANDO EL LABORATORIO DEL SINCROCICLOTRON DE 28 MeV

- Espectro Gamma de ^{107}Rh (23 min).
C.A.Mallmann, S.Mayo, S.Nassiff.
Revista Mexicana de Física 4, 185 (1956).
- Determinación de la energía del ^{138}Xe (17 min) y ^{137}Xe (3,8 min) por absorción.
S.Nassiff, W.Seelmann-Eggebert.
CNEA, Serie Química, Vol I, N°6 (1956).
- Radiación γ procedente de la desintegración de $^{128}_{53}\text{I}$.
H.E.Bosch, H.Munczek, R.Radicella.
Ciencia e Investigación, 12, 311 (1956).
- El Sincrociclotron de Buenos Aires.
S.Mayo, A.Portela, J.M.Feola, C.Paganini, C.A.Heras, J.Rosenblatt, C.Mattiussi.
CNEA, Publicación interna N° 14 (1958).
- Regenerative beam extraction on the Buenos Aires Synchrocyclotron.
S.Mayo, C.A.Heras, J.Rosenblatt.
Nuclear Instruments 2, 9 (1958).
- Gamma Rays from ^{128}I ,
S.Mayo, C.A.Heras, J.Rosenblatt.
Nuclear Instruments 2, 9 (1958)
- Gamma Rays from ^{106}Rh (130 - 2 min)
S.Mayo, S.J.Nassiff
Physical Review 111, 1140 (1958)
- Excitation function for the $^{27}\text{Al}(d,p)^{24}\text{Na}$ Reaction
Between 0 and 28.1 MeV
P.A.Lenk, R.J.Slobodrian
Physical Review 116, 1229 (1959).
- Design of Alternating Gradient Quadrupole Lenses
J.Rosenblatt
Nuclear Instruments 5, 152 (1959)

- Estados excitados del ^{136}Ba
S.J.Nassiff, J.J.Peyre, T.Urstein
CNEA, Informe N° 22, (1959)
- Función de excitación para la reacción ^{27}Al (d,p α)
 ^{28}Al entre 0 y 28 MeV
P.A.Lenk, R.J.Slobodrian
CNEA, Informe N° 29 (1960)
- El deflector magnético del haz del Sincrociclotron de Buenos Aires
J.Rosenblatt, R.J.Slobodrian
CNEA, Informe N° 45 (1960)
- Optimum Target Orientation in Nuclear Reactions Experiments
J.Rosenblatt
Rev. Scient. Instr. 31, 578 (1960)
- The Magnetic Deflector of the Buenos Aires 180-cm Synchrocyclotron
J.Rosenblatt y R.J.Slobodrian
Rev. Scient. Instr. 31, 863 (1960)
- Three-Dimensional Space Charge Flow
J.Rosenblatt
J. of Appl. Phys. 31, 1371 (1960)
- Dispersión de deuterones de 28.1 MeV por Hidrógeno, Litio, Carbono y Aluminio
R.J.Slobodrian
CNEA, Informe N° 54 (1961)
- Dispersión Elástica e Inelástica de Deuterones de 27.6 MeV por Níquel
S.Mayo, J.Rosenblatt
Buenos Aires (1961)
- Dispersión de deuterones de 28.1 MeV por litio
R.J.Slobodrian
Boletín de la Academia Nacional de Ciencias - Tomo XLII 75 (1961)
- Interacción de deuterones de 27.0 MeV con blancos gaseosos de Nitrógeno
H.J.Erramuspe, R.J.Slobodrian
CNEA, Informe N° 56 (1962)

- Aceleradores de Partículas
J. Rosenblatt
Lautaro, Bs.As., Segunda Edición (1962)
- Scattering of 27.7 MeV Deuterons on Beryllium and Boron
J. Slobodrian
Nuclear Physics 32, 684 (1962)
- Scattering and Stripping of 27.0 MeV Deuterons on Nitrogen
H.J. Erramuspe, R.J. Slobodrian
Nuclear Physics 34, 532 (1962)
- Interaction of Deuterons with ^{16}O and ^{58}Ni
S. Mayo, J. Testoni
Nuclear Physics 36, 615 (1962)
- Elastic and Inelastic scattering of 28 MeV Deuterons
R.J. Slobodrian
Physical Review 125, 1003 (1962)
- Stripping with 28 MeV Deuterons
R.J. Slobodrian
Physical Review 126, 1059 (1962)
- Cylindrical Bessel function dependence in the angular distribution of the $^3\text{He}(\text{d},\text{p})^4\text{He}$ stripping reaction at 27 MeV
O.M. Bilaniuk, R.J. Slobodrian
Phys. Letters 4, 209 (1963)
- The $^3\text{H}(\text{d},\text{p})^4\text{He}$ and ^3He reactions at 23,2 to 27,0 MeV
O.M. Bilaniuk, R.J. Slobodrian
NYO-9535 (1963)
- Diproton and the $^3\text{He}(\text{d},\text{t})^2\text{H}$ reaction
O.M. Bilaniuk, R.J. Slobodrian
Phys. Letters 7, 77 (1963)
- Evidencia acerca de la existencia del Diprotón ^2H a través de la reacción $^3\text{He}(\text{d},\text{t})^2\text{H}$
O.M. Bilaniuk, R.J. Slobodrian
CNEA, Informe N° 96 (1963)

- Nuclear Interaction Correction for Deuteron Scintillation Counting
R.M.Eisberg, S.Mayo, W.Schimmerling
Nuclear Instruments 21, 232 (1963)
- Scattering and Stripping of Deuterons on ^4He between 21 and 28 MeV
H.J.Erramuspe, R.J.Slobodrian
Nuclear Physics 49, 65 (1963)
- Some (d, α) Reactions on ^9Be , ^{19}F and ^{27}Al at 27,5 MeV
S.Mayo, J.Testoni and O.M.Bilaniuk
Physical Review, 133, 2B, B50 (1964)
- Determination of conversion coefficients from the decays of ^{202}Pb by means of a semiconductor detector
H.Bosch, F.Krmpotic, A.Plastino
Nucl.Phys. 56, 689 (1964)
- Reactions Cross Sections for 26,5 MeV Deuterons
S.Mayo, W.Schimmerling, M.J.Sametband, R.M.Eisberg
Nuclear Physics 62, 393 (1965)
- Función de Excitación para la reacción $^{198}\text{Au} (d,p) ^{198}\text{Au}$
S.Nassiff, E.Quel, J.Testoni
CNEA, Informe N°160 (1965)
- Desintegración del ^{126}Sb y ^{126m}Sb
E.Quel, D.Horen, HBosch, S.Abecasis, M.C.Caracoche, A.López García.
Publicaciones internas del Dpto. de Física (Univer. Nac. de La Plata) (1965)
- Elastic Scattering of 27,5-MeV deuterons and its optical model analysis
J.Testoni, J.Rosenblatt, S.Mayo
Nuclear Physics, 74, 481 (1965)
- Excitation Function for the Reaction $^{197}\text{Au} (d,p) ^{198}\text{Au}$
S.Nassiff, E.Quel, J.E.Testoni, E.Sandoval
Nuclear Physics, 88, 344 (1966)
- The Deuterons Optical Potential in the Adiabatic Approximation
J.Testoni, L.C.Gomes
Nuclear Physics, 89 (1966) 288

- Isospin Dependence of the Nuclear Optical Potential
H.J. Erramuspe
Nuclear Physics A 105, 569 (1967)
- A Modified Regenerative Beam Extraction System for the
Buenos Aires 180 cm Synchrocyclotron
S. Mayo, M.J. Sametband
Nuclear Instruments, 60, 261-264 (1968)
- Sistema de Extracción del Haz del Sincrociclotrón
de Buenos Aires
S. Mayo, M.J. Sametband
Acta Científica, 1, (3-10) 1968
- Corrección y Regulación del Campo Magnético del
Sincrociclotrón de Buenos Aires
S. Mayo, M.J. Sametband, J.E. Sinderman, J.R. Torenzetti
CNEA, 238, (1969)
- Ciclotrón Isocrono vs. Tandem en la Física Nuclear
S. Mayo, M.J. Sametband
Acta Científica, 1, 21-41 (1968)
- On the Regenerative Beam Extraction System for the
Buenos Aires 180 cm Synchrocyclotron
S. Mayo, M.J. Sametband
Nuclear Instruments, 1, 68, (1969)
- Imán Deflector para un haz de Deuterones de 27 MeV
H.J. Erramuspe, M.J. Sametband, S. Mayo, N. Fazzini
Acta Científica, 1969
- The $T = 1$ Pairing Hamiltonian in a Two Level Model
G.G. Dussel, E.E. Maqueda and R.P.J. Perazzo
Nuclear Physics, (1970), en Prensa.
- Nuclear Structure Factors for Two-Particle Reactions in
1p-shell Nuclei
O. Dragun, E.E. Maqueda and J. Testoni.
A publicarse (1970)
- N-N Interaction Matrix Elements from Phase Shift and
the Jost Function
P. Ripa and E. Maqueda,
A publicarse, (1970)

- (d, ⁶Li) Reactions
O.Dragun, G.Dussel, E.E.Maqueda, R.P.J.Perazzo
A publicarse (1970)
- The Collective Treatment of the Pairing Hamiltonian
II-Formulation of the Charge Independent Model
D.R.Bes, G.G.Dussel, R.J.P.Perazzo
A publicarse (1970)
- The Collective Treatment of the Pairing Hamiltonian
III-Numerical Solution of the Charge Independent Model
D.R.Bes, G.G.Dussel, R.P.J.Perazzo
A publicarse (1970)
- Solutions of the Pairing Hamiltonian in a realistic case
E.Aisenberg, G.G.Dussel, F.C.Iglesias, R.P.J.Perazzo,
A publicarse (1970)
- Depletion Depth Determination in Semiconductor
Radiation Detectors
H.J.Erramuspe, Nucl. Instr. and Meth, 78 (1970) 175
- Fabricación de Detectores Semiconductores de Silicio
(Li) para Reacciones Nucleares
H.J.Erramuspe, Acta Científica 2 (1969) 153
- Automatic Control of the Drifting Process
for Semiconductor Radiation Detectors
H.J.Erramuspe and J.E.Sinderman
A publicarse (1970)
- Sistema de Transporte del Haz Externo del
Sincrociclotron de 28 Mev
M.J.Sametband, A.Ferrero, A.Ceballos, H.Sofía,
H.J.Erramuspe, N.A.Fazzini
A publicarse (1970)

Ib.- TRABAJOS REALIZADOS POR MIEMBROS DEL LABORATORIO
ENVIADOS POR ESTE EN VIAJE DE PERFECCIONAMIENTO A
OTROS CENTROS DE INVESTIGACION.

- Distribución angular en la reacción ^{13}C (dt) ^{12}C 7,65 MeV
S.Mayo
CNEA. - Informe N° 13 (1959)
- Interacción de deuterones de 14,8 MeV, con carbono
S.Mayo, A.I.Hamburger
CNEA. - Informe N° 14 (1959)
- Alpha-Alpha Scattering in the range 36.8 to 47.3 MeV
H.E.Conzett, G.Igo, H.C.Shaw, R.J.Slobodrian
Physical Review 117, 1075 (1960).
- Nuclear Structure in the Lead Region with (dp) Reactions
B.L.Cohen, R.E.Price, S.Mayo
Nuclear Physics 20, 370 (1960)
- Nuclear Structure Studies in the Lead Region with (dt) Reactions
B.L.Cohen, R.E.Price, S.Mayo
Nuclear Physics 20, 360 (1960).
- Triton angular distribution from 14,8 MeV deuterons in ^{13}C
S.Mayo, A.I.Hamburger
Physical Review 117, 832 (1960)
- Differential Cross Sections and Polarization of 9.4 MeV Protons Elastically Scattered by ^{58}Ni and ^{59}Co
G.W.Greenless, U.Haznedaroglu, P.Rolph, A.B.Robbins, J.Rosenblatt
Nuclear Physics, 49, 496 (1963)
- Total reaction cross sections for 10 MeV protons
P.J.Bulman, G.W.Greenless, M.J.Sametband
Nuclear Physics, 69, 536 (1965)
- ^{45}Sc and the excited core model
H.J.Erramuspe
Rev.de Mat. y Física Teórica, Univ.Nac.de Tucumán, 27, 193(1967)

- Estudios Nucleares con Dispersión Elástica e Inelástica de Protones
H.J. Erramuspe
Univ. Nacional de Cuyo. Tesis Doctoral (1966)
- A Scattering Chamber for use with Solid State Detectors
H.J. Erramuspe, A. Seifert
Nucl. Instr. and Methods, 40, 155 (1966)
- Elastic and Inelastic Proton Scattering from ^{46}Ti and ^{48}Ti
H.J. Erramuspe
Nuclear Physics A 101, 138 (1967-Rev. de Mat. y Física Teórica, Univ. Nac. de Tucumán 27, 173 (1967)
- Elastic Scattering of Polarized Deuterons from ^4He between 18 and 22 MeV
J. Arvieux, P. Darriulat, D. Garreta, A. Papineau, A. Tarrats, J.E. Testoni
Physics Letters, 22, 439 (1966)
Nuclear Physics A 94, 663 (1967)
- Search for $T=1/2$ states in ^3He by Elastic Scattering of Protons on Deuterium
D. Daronian, B. Mayer, A. Pages, A. Papineau, J.C. Faivre, D. Garreta, J. Goudergues, J. Jungerman, J.E. Testoni
Nuclear Physics A 104, 111 (1967)
- Differential cross section and polarization in p-a scattering from 22 to 25 MeV
P. Darriulat, D. Garreta, A. Tarrats, J.E. Testoni
Nuclear Physics A 108, 316 (1968)
- The Reaction $^{203,205}\text{Tl}(\alpha, t)^{204,206}\text{Pb}$
O. Nathan, G. Bruge, A. Bussiere, J.C. Faivre, H. Faraggi, J.M. Loiseaux, P. Roussel, J.E. Testoni, L. Valentin
Nuclear Physics A 109, 481 (1968)
- Reactions (α, t) and $(\alpha, ^3\text{He})$ on Ni isotopes at 44 MeV
G. Bruge, A. Bussiere, J.C. Faivre, H. Faraggi, J.M. Loiseaux, P. Roussel, J.E. Testoni, L. Valentin
Nuclear Physics (1970).

Ic.- COMUNICACIONES A CONGRESOS Y REUNIONES CIENTIFICAS
ARGENTINAS O INTERNACIONALES

- Espectroscopia gamma de centelleo
D.Bes, H.Bosch, C.A.Mallmann, S.Mayo .
25a. Reunión de la AFA (1955)
- Espectro Gamma del ^{107}Rh
C.A.Mallmann, S.Mayo, S.J.Nassiff
26a. Reunión de la AFA (1955)
- Espectro Gamma del ^{127}Sb
H.Bosch, H.Carminatti, I.G.de Fraenz, H.Munczek,
J.Rodríguez
26a. Reunión de la AFA (1955)
- Espectro Gamma del ^{128}I
H.Bosch, H.Carminatti, H.Munczek, R.Radicella, J.Rodríguez
26a. Reunión de la AFA (1955)
- Espectro Gamma del ^{106}Rh (130 ± 2 min)
S.Mayo, S.J.Nassiff
27a. Reunión de la AFA (1956)
- Elastic Scattering of protons at 12 MeV
H.C.Shaw, H.E.Conzett, R.J.Slobodrian, R.G.Summers-Gill
Bull.Amer. Phys. Soc. Serie II, Vol. 1 p. 253 (1956)
- Desintegración del ^{131}Te y ^{131m}Te
D.Bes, C.A.Mallmann, C.M.de McMillan
27a. Reunión de la AFA (1956)
- Coincidencia γ - γ en ^{127}Sb
H.Bosch, S.J.Nassiff
27a. Reunión de la AFA (1956)
- Espectro de neutrones rápidos producidos en el bombardeo de
 ^9Be con deuterones de 30 MeV
E.Perez Ferreira, J.Roederer
27a. Reunión de la AFA (1956)
- Cálculo de orbitas en la zona marginal del Sincrociclotrón
C.A.Heras, S.Mayo
29a. Reunión de la AFA (1957)

- Dispersión elástica de partículas por helio a 41.9 y 46.1 MeV
H.E.Conzett, G.Igo, H.C.Shaw, R.J.Slobodrian
30a. Reunión de la AFA (1957)
- Diseño de un deflector no lineal regenerativo para la extracción del haz del sincrociclotron de Buenos Aires
C.A.Heras, S.Mayo
30a. Reunión de la AFA (1957)
- Extracción no lineal regenerativa del haz del sincrociclotron de Buenos Aires
S.Mayo, J.Rosenblatt
30a. Reunión de la AFA (1957)
- Elastic Scattering of 44.7 MeV alpha particles by Helium
H.E.Conzett, G.Igo, H.C.Shaw, R.J.Slobodrian
Bull.Amer.Phys, Soc.Serie 11, Vol.2p305 (1957)
- Gamma radiation from ^{128}I
H.Bosch, R.Radicella, P.Reyes, T.Urstein
Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses Of Atomic Energy
P/2767, Vol 14, p 181, September 1958, Ginebra
- Gamma Spectrum of Rhodium-106 (130^{+2}min)
S.Mayo, S.J.Nassiff
Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy
P/1564, Vol. 14, p.184, September 1958, Ginebra
- Defasajes correspondientes a la dispersión elástica de partículas alfa de 41,9 MeV
R.J.Slobodrian
32a. Reunión de la AFA (1958)
- Interacción de deuterones de 28 MeV con blancos gaseosos de nitrógeno
H.J.Erramuspe, R.J.Slobodrian
37a. Reunión de la AFA (1961)
- Distribución angular de protones de la reacción $^4\text{He}(d,p)^5\text{He}$ con deuterones de 27,3 y 24,3 MeV
H.J.Erramuspe, R.J.Slobodrian
39a. Reunión de la AFA (1962)

- Interacción de deuterones con ^{16}O y ^{58}Ni
J. Testoni, S. Mayo
39a. Reunión de AFA (1962)
- Espectro de electrones de conversión en el decaimiento
 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ a ^{110}Cd
G. Scheuer, T. Suter, P. Reyes-Suter Aasa
39a. Reunión de la AFA (1962)
- Análisis de Modelo Optico y Ondas distorsionadas
en Reacciones (d,d)(d,p) y (d,d') sobre ^{16}O , ^{58}Ni ,
 ^{207}Pb y ^{208}Pb
J. Testoni, S. Mayo
41a. Reunión de la AFA (1963)
- Algunas reacciones (d, α) en ^9Be , ^{19}F , y ^{27}Al a 27,5 MeV
S. Mayo, J. Testoni, O.M. Bilaniuk
41a. Reunión de la AFA (1963)
- Dispersión elástica de deuterones de 21, 24, 25,5 y 27 MeV
por el núcleo de ^4He
H.J. Erramuspe, R.J. Slobodrian
41a. Reunión de la AFA (1963)
- Secciones de Reacción para $E_d=26,5$ MeV
S. Mayo, W. Schimmerling, M.J. Sametband, R.M. Eisberg
43a. Reunión de la AFA (1964)
- Analisis en base al Modelo Optico de Distribuciones Angulares
de Dispersión elástica de Deuterones a 27,5 MeV
J. Testoni, S. Mayo, J. Rosenblatt
43a. Reunión de la AFA (1964)
- Cross Sections for 26,5 MeV deuterons
S. Mayo, W. Schimmerling, M.J. Sametband, R.M. Eisberg
Congreso Internacional de Física Nuclear, París (1964)
- Secciones eficaces para protones de 8,8 MeV
P. Bulman, G. Greenlees, M.J. Sametband
AFA, Mayo 1964
- ^{45}Sc y el Modelo de Core Excitado
H.J. Erramuspe
AFA, (1966)
- Cámara de Reacción para usar con Detectores de Estado Sólido
H.J. Erramuspe, A. Seifert
AFA (1966)

- ^{45}Sc and the Excited Core Model
 H.J. Erramuspe
 International Conf. on Nucl. Physics, Gatlinburg,
 Tenn. USA (1966)
 Rev. de Mat. y Física Teórica de la Univ. Nac. de Tucumán,
27, 193 (1967)
- Sistema de Extracción del Haz del Ciclotrón
 S. Mayo, M.J. Sametband
 Comunicación AFA, Mayo 1968
- Ciclotrón versus Tandem en la Física Nuclear
 M.J. Sametband, S. Mayo
 Informe AFA, Mayo 1968
- Dependencia del Spin Isotópico del Potencial
 Optico Nuclear
 H.J. Erramuspe
 AFA, (1967)
- Interpretación de Resultados Singulares del Modelo
 Optico en el Caso del ^{27}Al
 H.J. Erramuspe
 AFA, (1967)
- El Modelo Colectivo en el Caso de los núcleos
 ^{46}Ti y ^{48}Ti
 H.J. Erramuspe
 AFA, (1967)
- Efectos de Potenciales Nucleares que no conservan Paridad
 E.E. Maqueda
 Informe a la 50a. Reunión AFA, (1968)
- Sección eficaz diferencial y polarización en la
 dispersión p-a entre 22 y 25 MeV
 P. Darriulat, D. Garreta, A. Tarrats, J.E. Testoni
 50a. Reunión de la AFA (1968)
- La Reacción $^{203,205}\text{Tl}(a,t)^{204,206}\text{Pb}$
 O. Nathan, G. Bruge, A. Bussiere, J.C. Faivre, H. Fraggi,
 J.M. Loiseaux, P. Roussel, J.E. Testoni, L. Valentin
 50a. Reunión de la AFA (1968)
- Reacciones con transferencia de dos partículas en la capa p
 O. Dragún E.E. Maqueda, J.E. Testoni
 51a. Reunión de la AFA (1968)

- El Sistema de Extracción del Haz del Sincrociclotrón de Buenos Aires
S.Mayo, M.J.Sametband
Comunicación al Primer Congreso Latino Americano de Física, México 1968
- Efectos de Potenciales Nucleares que no conservan paridad
E.E.Maqueda
AFA, Mayo 1968
- Reacciones con transferencia de dos partículas en la capa P
O.Dragún, E.E.Maqueda, J.Testoni
AFA, Octubre 1968
- Nuevas Técnicas experimentales en difusión de Li
H.J.Erramuspe
AFA, 1969
- Reacciones de Transferencia (α, t) y ($\alpha, {}^3\text{He}$) en la capa f-p
P.Rousel, G.Brüge, A.Bussiere, H.Faragi, J.Testoni
AFA, Abril 1970
- Estudio de la Reacción ${}^{58}\text{Ni} ({}^3\text{He}, p) {}^{60}\text{Cu}$
B.Bayman, R.P.J.Perazzo
AFA, Abril 1970
- Distribuciones angulares para reacciones con transferencia de dos partículas en núcleos livianos
O.Dragún
AFA, Abril 1970
- Decaimientos prohibidos por isospin en núcleos de masa 13
S.R. de Bondorevsky
AFA, Abril 1970
- Resolución exacta de la fuerza de apareamiento con $T=1$ en un modelo de dos niveles
G.G.Dussel, E.E.Maqueda, R.P.J.Perazzo
AFA, Abril 1970
- Sistema de transporte del haz externo del Sincrociclotrón de 28 MeV
M.J.Sametband, A.Ferrero, A.Ceballos, H.Sofía, H.Erramuspe, N.A.Fazzini
AFA, Abril 1970

- Control automático del proceso de desplazamiento iónico para detectores semiconductores.
H.J. Erramuspe, J.E. Sinderman
53a. Reunión AFA. Abril 1970.
- Tratamiento fenomenológico de efectos anarmónicos en los isótopos del Cd.
D.R. Bés, G.G. Dussel
52a. Reunión AFA. 1969.
- Tratamiento microscópico de efectos anarmónicos en los isótopos del Cd.
D.R. Bés, G.G. Dussel
52a. Reunión AFA, 1969.
- Solución del hamiltoniano de Bohr
G.G. Dussel, D.R. Bés
52a. Reunión AFA, 1969.
- Solución exacta del hamiltoniano colectivo de pairing
D.R. Bés, R.P.J. Perazzo
52a. Reunión AFA, 1969.
- Análisis de la excitación coulombiana del ^{209}Bi
R.P.J. Perazzo
52a. Reunión AFA, 1969.
- Descripción molecular de la banda rotacional anómala en el Be^8
O.M. Dragún, M.A.J. Mariscotti
54a. Reunión AFA, 1970.
- Formulación colectiva del Hamiltoniano de apareamiento isoescalar
D.R. Bés, G.G. Dussel, R.P.J. Perazzo
54a. Reunión AFA, 1970.
- Estudio de las reacciones ($d, {}^6\text{Li}$)
O.M. Dragún, G.G. Dussel, E.E. Maqueda, R.P.J. Perazzo
54a. Reunión AFA, 1970.
- Solución exacta del Hamiltoniano de apareamiento y comparación con métodos aproximados.
E. Aisenberg, G.G. Dussel, F.C. Iglesias, R.P.J. Perazzo
54a. Reunión AFA, 1970.

- Reacciones (d, ^6Li) con el haz del Ciclotrón de Buenos Aires
A.E.Ceballos, H.J.Erramuspe, A.M.J.Ferrero, M.J.Sametband, J.E.Testoni
54a. Reunión AFA, 1970.

- Elementos de matriz de la interacción N-N a partir de los corrimientos de fase experimentales.
P.Ripa Alsina, E.E.Maqueda
54a. Reunión AFA, 1970.

- Grados de libertad colectivos en física nuclear
R.P.J.Perazzo
52a. Reunión AFA, 1969.

- Collective treatment of the $T = 1$ Pairing hamiltonian
G.G.Dussel
ELAF, 1970.

Id.- TAREAS DOCENTES REALIZADAS POR PERSONAL DEL LABORATORIO

- Física III (Electricidad y Magnetismo)
Curso dictado por M.J.Sametband en 1958 en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas, Universidad de Buenos Aires.
- Física IV (Moderna)
Curso dictado por M.J.Sametband en 1959 y 1960 en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires
- Física IV (Trabajos Practicos)
Jefatura de Trabajos Practicos de H.J.Erramuspe, en 1959, 1960 y 1961 en la Cátedra de Física IV del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires
- Física Nuclear
Curso dictado por R.Slobodrian en el Departamento de Física de la Universidad de La Plata, 1959 a 1962
- Física I (Mecanica)
Curso dictado por H.J.Erramuspe en 1960 en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires
- Low Energy Nuclear Physics
J.Goldemberg, A.O.Hanson
Apuntes del Curso de la Escuela Latinoamericana de Física
S.Mayo, R.Ballesteros, F.Tagliabue
Río de Janeiro (1960)
- Instrumentación Nuclear, Aceleradores de Partículas
R.J.Slobodrian
Curso dictado en la Escuela Latinoamericana de Física
Universidad de Buenos Aires, 1961
- Nuclear Reactions
S.D.Bloom
Apuntes del Curso de la Escuela Latinoamericana de Física
S.Mayo, J.E.Testoni, C.A.Heras
Buenos Aires, 1961

- Trabajos de Laboratorio
Curso de Trabajos Practicos dirigido por
H.J. Erramuspe en 1961 en el Departamento de Física
de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de
Buenos Aires
- Trabajos Practicos de Física Nuclear
Curso de Trabajos Practicos dirigido por S. Mayo
en 1961 y 1962 en el Departamento de Física de la Facultad
de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires
- Física I (Mecánica)
Curso dictado por M.J. Sametband en 1963 en el
Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas
de la Universidad de Buenos Aires
- Física II (para el Doctorado en Ciencias Naturales)
Curso dictado por M.J. Sametband en 1963 en la
Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires
- Física Nuclear Experimental
Curso dictado por M.J. Sametband en 1964 en el Departamento
de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la
Universidad de Buenos Aires
- Teoría de las Reacciones Nucleares
L.C. Gomes
Apuntes del Curso dictado en la Escuela Latinoamericana
de Física
W. Schimmerling
Buenos Aires, (1964)
- Física I (Trabajos Practicos)
Jefatura de Trabajos Practicos de J. Testoni durante
1963 y 1964 en la Cátedra de Física, Departamento de
Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la
Universidad de Buenos Aires
- Física III (Trabajos Practicos)
Jefatura de Trabajos Practicos de J. Testoni en
1965 en la Cátedra de Física III del Departamento de
Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la
Universidad de Buenos Aires
- Radiotecnica General (Trabajos Practicos)
Jefatura de Trabajos Practicos de J.E. Sinderman durante
el año 1969 en la Catedra de Radiotecnica General en la
Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires

- Electrónica General (a) y (b) (Trabajos Practicos)
Jefatura de Trabajos Practicos de Electrónica General de
J.E.Sinderman en la Facultad de Ingeniería de la
Universidad de Buenos Aires en 1970
- Física Nuclear (I) y (II)
Curso dictado para postgraduados en Física en el año 1969
por:
J.Testoni, J.E.Sinderman, H.J.Erramuspe, M.J.Sametband,
E.E.Maqueda, R.P.J.Perazzo, G.Dussel en la CNEA
- Física Nuclear
Curso dictado como introducción a la Física de Reactores
en el año 1970 por H.J.Erramuspe y J.Testoni en la CNEA
- Properties of Accelerated Beams; some Uses in Nuclear Physics
Curso dictado en la Escuela Latinoamericana de Física 1970
por M.J.Sametband
Apuntes tomados por A.Ferrero, C.Cisneros, M.E.O.de López
Buenos Aires (1970)
- Spectroscopy with Nuclear Reactions
G.Igo
Apuntes del Curso de la Escuela Latinoamericana de Física
H.Sofía, J.G. del Campo, I.A.Torres,
Buenos Aires (1970)
- Nuclear Reactions in Coupled Channels
T.Tamura
Apuntes del Curso de la Escuela Latinoamericana de Física
O.Dragun, S.R. de Bondorevsky
Buenos Aires (1970)

Ie. TRABAJOS DE SEMINARIOS Y TESIS REALIZADOS
 POR PERSONAL DEL LABORATORIO.

- J.W.Schweimer
Sección eficaz diferencial de la reacción ^{16}O (dd) ^{16}O
para $E_d = 27,5$ MeV. Seminario
Universidad de Buenos Aires, 1961.
- W.Schimmerling
Construcción de una cámara de dispersión para el estudio
de la dispersión tipo Rutherford de partículas alfa del
 ^{210}Po por Au. Seminario
Universidad de Buenos Aires, 1962.
- V.Massida
Construcción de un contador proporcional delgado para
partículas pesadas productos de reacción. Seminario
Universidad de Buenos Aires, 1963.
- A.M.J.Ferrero
Construcción de un detector de pérdidas de vacío por
espectroscopía de masas. Seminario.
Universidad de Buenos Aires, 1964.
- R.Zucca
Construcción del instrumental para la realización de la
experiencia de Stern-Gerlach. Seminario
Universidad de Buenos Aires, 1965.
- J.Rosenblat
El problema de la carga espacial en haces de partículas
cargadas de forma arbitraria. Tesis.
Universidad Nacional de La Plata, 1959.
- J.E.Testoni
Interacciones de Deuterones de 27.5 MeV con Núcleos
Atómicos. Tesis.
Universidad Nacional de Cuyo, 1965.
- H.J.Erramuspe
Estudios Nucleares con Dispersión Elástica e Inelástica
de Protones. Tesis.
Universidad Nacional de Cuyo, 1966.

- H.M.Sofía
Estudios de la Instrumentación para la Medición de Reacciones Nucleares. Seminario.
Universidad de Buenos Aires, 1968.

- O.M.Dragún
Estudio Sistemático de la capa p con reacciones de transferencia de dos nucleones.
Tesis en preparación.
Universidad de Buenos Aires, 1970.

- A.M.J.Ferrero
Reacción (d,t) con deuterones de 28 MeV
Tesis en preparación.

- A.E.Ceballos
Reacciones (d, ^6Li) con deuterones de 28 MeV
Tesis en preparación.

- H.M.Sofía
Tesis en preparación.

- S.L.Reich
Tesis en preparación.

IF.- BECAS INTERNAS DE PERFECCIONAMIENTO

- E.J. Quel
Licenciado en Física de la Universidad Nacional de La Plata, para trabajos de investigación de Física Nuclear
1963
- O. Bernaola
Licenciado en Física de la Universidad Nacional de Cuyo para trabajos de investigación en Física Nuclear
1965
- A. Filevich
Licenciado en Física de la Universidad Nacional de Cuyo, para trabajos de investigación en Física Nuclear
1965
- E. Kerner
Ingeniería Electromecánica, orientación Electrónica de la Universidad de Buenos Aires, para trabajos de desarrollo en Electrónica Nuclear
1965
- D. Camín
Estudiante de Ingeniería Electrónica, de la Universidad de Buenos Aires, para trabajos de desarrollo en Electrónica Nuclear
1968
- R. Ardito
Estudiante de Ingeniería, Electrónica de la Universidad de Buenos Aires, para trabajos de desarrollo en Electrónica Nuclear
1969
- H. Sofía
Licenciado en Física, Universidad de Buenos Aires, para trabajos de investigación en Física Nuclear
1968-1969
- S. Reich de Bondorevsky
Licenciada en Física, Universidad de Buenos Aires, para Trabajos de investigación en Física Nuclear
1969-1970

Ig.- VIAJES DE ESTUDIO Y DE PARTICIPACION EN CONGRESOS
INTERNACIONALES DEL PERSONAL

- R.J.Slobodrian
Al laboratorio de Radiación de la Universidad de California, Berkeley, USA, por dos años.
CNEA, 1955-1957
- S.Mayo
Al grupo de Física Nuclear del Laboratorio Nacional de Brookhaven y al Laboratorio de Radiación de la Universidad, Pittsburgh, USA, por dos años, en comisión de estudios CNEA
1957-1959
- J.Rosenblatt
Al Departamento de Física de la Universidad de Birmingham, Inglaterra, por dos años beca OIEA-CNICT,
1960-1962
- M.J.Sametband
Al Departamento de Física de la Universidad de Birmingham, Inglaterra, por dos años beca OIEA-CNICT,
1961-1963
- H.J.Erramuspe
Al departamento de Física de la Universidad de Columbia, USA, por dos años, beca de OIEA
1963-1965
- J.Testoni
Al departamento de Física de Saclay del Comisariado de la Energía Atómica de Francia, por dos años, beca OIEA-CNICT
1965-1967
- M.J.Sametband
Asistencia al Congreso Internacional de Interacciones Directas y Mecanismos de Reacciones Nucleares, Padova, Italia
1962
- S.Mayo
Al Congreso Internacional de Física de Paris y a diversos Laboratorios Nucleares de Europa y Estados Unidos
julio 1964

- S.Mayo
Asistencia a la Cuarta Conferencia Internacional sobre Ciclotrones Isocronos, Gattinburg; a la Reunión de la American Physical Society en Washington, y a los Centros Atómicos de Argonne, Brookhaven y Oak Ridge.
Abril 1966

- H.J.Erramuspe
Participación en las Reuniones de la American Physical Society en 1963, 1964 y 1965

- H.J.Erramuspe
Participación en la Conferencia Internacional de Física Nuclear, Gatlinburg, Setiembre 1966, y visita al Centro Atómico de Oak Ridge, 1966.

- O.M.Dragún
Participación en la Escuela Latino Americana de Física Santiago - Chile, 1967.

- S.Mayo, H.J.Erramuspe, J.E.Testoni, E.E.Maqueda
Participación en el Iº Congreso Latino Americano de Física Azxtepec, México, 1968

- M.J.Sametband
Asistencia a la Cuarta Conferencia Internacional sobre Ciclotrones Isocronos, Gatlinburg, Marzo 1966.
A la Reunión de la American Physical Society, Washington
Abril 1966: a los Laboratorios de Física Nuclear de Brookhaven, Argonne, University of Chicago, Oak Ridge, 1966.

- S.Mayo
Asistencia a la Conferencia de Aceleradores, Washington 1967, y visita a los Centros Atómicos de Harwell y Saclay y a la Fábrica de Ciclotrones Philips, Holanda.

- M.J.Sametband
Asistencia al Congreso Internacional de Ciclotrones, Oxford, 1969, al Congreso Internacional sobre Usos de Ciclotrones en Metalurgia, Química y Biología, Oxford, 1969 y a los Centros Atómicos de Harwell, Saclay, Karlsruhe, y a las Instalaciones de la Sección Ciclotrones de AEG, Frankfurt, Alemania y Philips, Amsterdam, Holanda.

Ih. - VISITAS AL LABORATORIO DE CIENTIFICOS DEL EXTERIOR.

- 1957 - Durante Febrero y Marzo el Dr. Albert V. Crewe de la Universidad de Chicago, USA. invitado por CNEA. colaboró con el personal de este Laboratorio en los trabajos de la extracción del haz por el método de Le Couteur.
- 1961 - Durante los meses de Junio a Setiembre el Dr. Robert M. Eisberg de la Universidad de California, Santa Barbara, USA. invitado por CNEA, colaboró con el personal de este Laboratorio en los trabajos relativos a la medición de secciones totales de reacción con deuterones de 26.3 MeV.
- 1962 - Desde Setiembre hasta Junio de 1963 el Dr. Olexa M. Bilaniuk de la Universidad de Rochester, USA, invitado por CNEA. colaboró con el personal de este Laboratorio en los trabajos relativos a la detección del diprotón y a diversas reacciones inducidas por deuterones de 27.5 MeV.
- 1963 - En Julio el Sr. William Goldsworthy del Laboratorio de Radiaciones de la Universidad de California, Berkeley, USA, como experto de la OIEA, colaboró con personal de este Laboratorio diseñando los circuitos de lógica electrónica necesarios para mediciones nucleares.
- 1964 - En Agosto el Prof. P. Hodgson del Departamento de Física Nuclear de la Universidad de Oxford, Inglaterra, fue invitado por CNEA y el CLAF (Centro Latino Americano de Física) para dictar algunos Seminarios sobre el Modelo Optico Nuclear, colaborando con el programa de investigación del Laboratorio.
- 1964 - Durante Agosto y Setiembre el Dr. L. C. Gomes de la Facultad de Filosofía, Ciencias y Letras de la Universidad de San Pablo, Brasil, fue invitado por CNEA y el CLAF (Centro Latino Americano de Física) para dictar Seminarios sobre Mecanismo de Interacción Directa con deuterones a energías intermedias colaborando con el programa de investigaciones del Laboratorio.
- 1967 - En Setiembre el Prof. H. Cotton del Departamento de Física Nuclear de Saclay, Francia dictó Seminarios sobre temas de reacciones nucleares, fue invitado por la CNEA.

1968 - En Diciembre un grupo de expertos en ciclotrones isocronos de la Compañía AEG, Frankfurt, Alemania, discutió con miembros del personal del Laboratorio las características técnicas y especificaciones del ciclotrón isocrono a instalarse en la CNEA.

El Prof. U.Schmidt-Rohr, del Max Planck Institut, Heidelberg, Alemania, discutió los planes de investigación nuclear a realizarse con el Sincrociclotrón y las características del proyecto del ciclotrón isocrono, con personal del Laboratorio. Fue enviado por el Ministerio de Ciencias del Gobierno Federal Alemán.

El Dr. Leboutet, Jefe de la Sección Ciclotrones Isocronos de la Compañía CSF, Saclay-Francia, discutió con miembros del personal del Laboratorio las características técnicas y especificaciones del ciclotrón isocrono a instalarse en la CNEA.

1969 - El Prof. Jacques Thirion, del Departamento de Física Nuclear de Saclay, Francia, durante Octubre, para discutir temas de reacciones nucleares del Laboratorio y dictar varios Seminarios. Fue invitado por la CNEA.

1970 - El Prof. G. Igo, enviado por la National Science Foundation dictó un curso de Reacciones Nucleares que formó parte de la Escuela Latino Americana de Física, varios Seminarios y discutió temas de trabajo y posibilidades futuras de colaboración entre éste Laboratorio y el correspondiente de la Universidad de California, Los Angeles.

- El Prof. Taro Tamura, dictó un curso sobre Teoría de Reacciones Nucleares en la Escuela Latino Americana de Física, varios seminarios y discutió temas de trabajo con personal de este Laboratorio. Se consideró además la colaboración de este laboratorio con el correspondiente de la Universidad de Texas, Austin.

- El Prof. Bernard L. Cohen, del Departamento de Física de la Universidad de Pittsburgh fue enviado por el National Science Foundation y dictó varios Seminarios sobre reacciones nucleares, discutiendo además las características del proyecto del ciclotrón isócrono con personal del Laboratorio.

El Prof. Tomas Tombrello, del California Institute of Technology, enviado por la National Science Foundation dictó varios Seminarios discutiendo ademas las características del proyecto del ciclotron isocrono con personal del laboratorio.

IIa.- PUBLICACIONES DE QUIMICA NUCLEAR

- Die Isobarenreihe $^{130}\text{Sn} - ^{130}\text{Sb}$
I.Fraenz, J.Rodriguez y H.Carminatti
Z.Naturforschg, 10a. 82 (1955)
- Los nucleidos de Molibdeno y Tecnecio en las cadenas de fisión 102 y 105
J.Flegenheimer, W.Seelmann-Eggebert
CNEA, Serie Química, Vol I, N° 7 (1956)
- Die Halbwertszeit von ^{127}Sn
H.Carminatti, I.Fraenz, R.Radicella, J.Rodriguez
Z.Naturforschg, 11a. 419 (1956)
- Neue Spalttechnetium-Isotope (^{104}Tc)
J.Flegenheimer, W.Seelman-Eggebert
Z.Naturforschg, 11a. 678 (1956)
- Ein neues Hf-isotop (^{183}Hf)
O.Gatti, J.Flegenheimer
Z.Naturforschg, 11a 679 (1956)
- Die Beiden Antimonisomere mit der Massenzahl 128.
I.Fraenz, J.Rodriguez, R.Radicella
Z.Naturforschg, 11a. 1037 (1956)
- Ein neues Antimonisotop, ^{126}Sb
I.Fraenz, R.Radicella, J.Rodriguez
Z.Naturforschg, 11a. 1038 (1956)
- Uber die Bestimmung des 18-und 4,5-min-Technetiums und ein neues kurzlebige Tc-Isotop (103)
J.Flegenheimer, D.Geithoff
Z.Naturforschg, 12a. 351 (1957)
- Neue schwere Cd-und In-Isotope
N.Nussis, J.Pahissa, E.Ricci
Z.Naturforschg, 12a. 520 (1957)
- Reacciones poco frecuentes observadas por irradiación de Silicio con deuterones
R.H.Rodriguez Pasques
CNEA, Serie Química, Vol.I N° 8 (1957)
- Un nuevo isótopo del Osmio
P.Rey, G.B. Baro
CNEA, Serie Química, Vol. I, N°10 (1957)

- Un nuevo isótopo del hierro (^{61}Fe)
E. Ricci, J. Pahissa Campa, N. Nussis
CNEA, Serie Química, Vol. I, N° 11 (1957)
- Rendimiento de la reacción nuclear ^{27}Al (d,2p) ^{27}Mg
R. Radicella, J. Rodríguez, G. B. Baró, O. Hittmair
CNEA, Serie Química, Vol. I, N° 13 (1958)
- Un nuevo isótopo del Hafnio ^{183}Hf
O. Gatti, J. Fleggenheimer
CNEA, Serie Química, Vol. I, N° 14 (1958)
- Die Ausbeute der Kernreaktion ^{27}Al (d,2p) ^{27}Mg
R. Radicella, J. Rodríguez, G. B. Baró, O. Hittmair
Zeitschrift für Physik, 150 653 (1958)
- Ausbeute der Kernreaktion ^{60}Ni (d,2n) ^{60}Cu
R. Radicella, J. Rodríguez, G. B. Baró, H. Hittmair
Zeitschrift für Physik, 153 314 (1958)
- Contribución al estudio radioquímico de reacciones nucleares inducidas por deuterones
R. Radicella
Universidad de Tucumán, Tesis (1958)
- Relaciones de los rendimientos del par isomérico $^{197\text{m}}, ^{197}\text{Hg}$ formado en la reacción nuclear ^{197}Au (d,2n) ^{197}Hg
S. Abecasis, S. Nassiff
(CNEA, Informe N° 38 (1960))
- Relación de los rendimientos del par isomérico $^{121\text{m}}\text{Te}$, ^{121}Te formado en la reacción nuclear ^{121}Sb (d,2n) ^{121}Te
S. Nassiff, S. Abecasis, A. Mocoroa
CNEA, Informe N° 61 (1961)
- The yield ratio of the isomeric pair Mercury $^{197\text{m}}, ^{197}\text{Hg}$ formed by ^{197}Au (d,2n) ^{197}Hg reaction
S. Abecasis, S. Nassiff
J. Inorg. Nucl. Chem. 17, 206 (1961)
- Search for antimony isotope with a 30 days half-life
M. C. Palcos, R. Radicella, R. Rodríguez
J. Inorg. Nucl. Chem. 19, 182 (1961)
- Relación de los rendimientos del par isomérico $^{137\text{m}}, ^{137}\text{Ce}$ formado en la reacción nuclear ^{139}La (d,4n) ^{137}Ce
S. Nassiff, H. Vignau
CNEA, Informe N° 53 (1961)

- A 2.8 hour Rhenium isotope
G.B.Baró, J.Fliegenheimer
Radioch. Acta 1, 2 (1962)

- La producción de radioisótopos en un sincrociclotrón
M.C.Palcos, R.Radicella, J.Rodriguez
CNEA, Informe N° 68 (1962)

- Estados isométricos del ^{90}V
S.Abecasis, H.Bosch, M.C.Caracoche, A.Mocoroa
H.Vignau
Revista UMA, 22 104 (1962)

- Yield ratio for the isomeric pair $^{121\text{m}}\text{Te}$, ^{121}Te produced
in ^{121}Sb (d,2n) ^{121}Te nuclear reaction
S.Nassiff, S.Abecasis, A.Mocoroa
J.Inorg. Nucl. Chem. 24 113 (1962)

- Fast separation of Antimony from Irradiated Enriched
Tellurium
S.Abecasis
Radiochimica Acta 2 103 (1963)

- Obtención en Sincrociclotrón de Trazadores de Plutonio
M.B.Crespi, G.A.Dupetit, R.R.Bonnard
CNEA, Informe N° 86 (1963)

- Polation of Carrier-Free $^{202\text{m}}\text{Pb}$ and ^{203}Pb
S.Abecasis
Radiochimica Acta 2 156 (1964)

- Polation of Carrier-Free $^{90\text{m}}\text{Y}$ and $^{93\text{m}}\text{Mo}$
S.Abecasis
Radiochimica Acta 2 157 (1964)

- The non existence of The $^{92\text{m}}\text{Nb}$ isomer
H.Bosch, S.Abecasis, E.Ansaldo, A.Jech, M.Mariscotti
J.Inorg.Nucl.Chem. 26 1337 (1964)

Iib. - COMUNICACIONES A CONGRESOS Y
REUNIONES CIENTIFICAS DE QUIMICA NUCLEAR

- Una nueva serie de isóbaros
G.B.Baró, P.Rey, W.Seelmann-Eggebert
25a. Reunión de la AFA (1955)
- Un nuevo isótopo del Estaño
I.G.de Fraenz, J.Rodriguez , H.Carminatti
25a. Reunión de la AFA (1955)
- Determinación de la energía total de desintegración del ^{61}Fe
J.Pahissa Campa, E.Ricci, H.Nussis
27a. Reunión de la AFA (1956)
- Nuevo isótopo de antimonio, ^{126}Sb
I.G.de Fraenz, J.Rodriguez, R.Radicella
27a. Reunión de la AFA (1956)
- El período del ^{127}Sn
R.Radicella, I.G.de Fraenz, J.Rodriguez, H.Carminatti
27a. Reunión de la AFA (1956)
- La cadena de fisión 104
J.Flegenheimer
27a. Reunión de la AFA (1956)
- Obtención de ^{28}Mg por irradiación de silicio con neutrones
R.H.Rodriguez Pasques
27a. Reunión de la AFA (1956)
- Cloro 40
M.E.Huergo y S.Nassiff
28a. Reunión de la AFA (1956)
- Nuevos isótopos de Cadmio e Indio
N.Nussis, J.Pahissa Campa, E.Ricci
28a. Reunión de la AFA (1956)
- Sobre un nuevo isótopo del Osmio
P.Rey, G.B.Baró
Cuartas Sesiones Químicas Rioplatenses, Montevideo (1957)
- Rendimiento relativo de las cadenas 105 y 99 en fisión de Uranio con deuterones
M.C.Palcos de Enquin, R.H.Rodriguez Pasques, N.Nussis
Cuartas Sesiones Químicas Rioplatenses, Montevideo (1957)

- Algunas propiedades nucleares del ^{61}Fe
J. Pahissa Campa, E. Ricci, N. Nussis
Cuartas Sesiones Químicas Rioplatenses, Montevideo (1957)
- Nuevos isótopos de Cadmio y de Indio con exceso de neutrones
N. Nussis, J. Pahissa Campa, E. Ricci
Cuartas Sesiones Químicas Rioplatenses, Montevideo (1957)
- El isótopo ^{195}Os
P. Rey, G. B. Baró
29a. Reunión de la AFA (1957)
- Secciones eficaces de la reacción $^{27}\text{Al} (d, pp) ^{27}\text{Mg}$
R. Radicella, J. Rodriguez, G. B. Baró
29a. Reunión de la AFA (1957)
- Rendimiento de las cadenas 99, 101, 102, y 105 en
fisión de uranio con deuterones
M. C. Palcos de Enquín, R. H. Rodriguez Pasques, N. Nussis
29a. Reunión de la AFA (1957)
- Sobre un rayo gamma del ^{61}Fe
E. Ricci, J. Pahissa Campa, N. Nussis
29a. Reunión de la AFA (1957)
- Secciones eficaces de la reacción $^{60}\text{Ni} (d, nn) ^{60}\text{Cu}$
J. Rodriguez, G. B. Baró, R. Radicella
30a. Reunión de la AFA (1957)
- Two Antimony activities having mass number 126
E. E. Bosch, R. Radicella
Proceedings of the Second United Nations International
Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy
P/2463, Vol 14, p. 203, September 1958, Ginebra
- ^{183}Hf , a new Hafnium isotope
O. Gatti, J. Fleggenheimer
Proceedings of the Second United Nations International
Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy
P/1571, Vol 14, p. 206, September 1958, Ginebra.
- Some new Cadmium and Indium isotopes
N. Nussis, R. H. Rodriguez Pasques, J. Pahissa Campa,
M. C. Palcos de Enquín, E. Ricci
Proceedings of the Second United Nations International
Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy
P/1572, Vol. 14, p. 209, September 1958, Ginebra

- On the nuclear constants of ^{61}Fe
J.Pahissa Campa, E.Ricci, N.Nussis
Proceedings of The Second United Nations International
Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy
P/1574, Vol. 14, p.179, September 1958, Ginebra.
- New data on Antimony isotopes containing excess neutrons
I.G.de Fraenz, J.Rodriguez, R.Radicella
Proceedings of the Second United Nations International
Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy
P/1573, Vol. 14, p.187, September 1958, Ginebra
- A new Osmium isotope with excess neutrons
P.Rey, G.B.Baró
Proceedings of the Second United Nations International
Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy
P/1570, Vol 14, p.189, September, 1958, Ginebra
- Dos actividades de Antimonio de número de masa 126
H.Bosch, R.Radicella
31a. Reunión de la AFA (1958)
- Cálculo de rendimientos acumulativos en la fisión de Uranio
H.E.Bosch, S.Abecasis
31a. Reunión de la AFA (1958)
- Decaimiento de la Plata 106 de 24 m
G.B.Baró, J.Peyré, P.Reyes
31a. Reunión de la AFA (1958)
- Nuevo isótopo del Hafnio: ^{183}Hf
O.O.Gatti, J.Flegenheimer
9a. Reunión de las Sesiones Químicas Argentinas (1958)
- Rendimiento de Pu en la irradiación de U con Deuterones
M.B.Crespi, G.A.Dúpetit, R.T.Bonard
9a. Reunión de las Sesiones Químicas Argentinas (1958)
- Rendimiento de Pu en la irradiación de V con deuterones
M.B.Crespi, G.A.Dupetit, R.T.Bonard
9a. Reunión de las sesiones Químicas Argentinas (1958)
- Relaciones de los rendimientos del par isomérico de $^{197\text{m}}\text{Hg}$,
 ^{197}Hg formado en la reacción nuclear $^{197}\text{Au} (d, 2n) ^{197}\text{Hg}$
S.Abecasis, S.J.Nassiff
35a. Reunión de la AFA (1960)

- Búsqueda de un isótopo de antimonio de aproximadamente 30 días
M.C.Palcos de Enquín, R.Radicella, J.Rodriguez
36a. Reunión de la AFA (1960)

- Un método de análisis elemental orgánico por activación
M.C.Palcos de Enquín, R.Radicella, J.Rodriguez
Asociación Química Argentina (1960)

- La producción de radioisótopos con un sincrociclotrón
M.C.Palcos de Enquín, R.Radicella, J.Rodriguez
4º Simposio Interamericano sobre las Aplicaciones Pacíficas
de la Energía Nuclear, México (1961)

- Función de excitación de la reacción $^{65}\text{Cu} (d, 2p) ^{65}\text{Ni}$
J.Rodriguez, M.C.Palcos de Enquín, R.Radicella
8º. Congreso Latinoamericano de Química, (1962)

- Un isótopo de Renio de 2,8 horas
G.B.Baró, J.Flegenheimer
8º- Congreso Latinoamericano de Química, (1962)

- Experiencia sobre producción de Radio en un pequeño
Reactor Experimental y en un Sincrociclotrón
R.Radicella
Reunión de Estudios sobre la utilización de Reactores de
Investigación OIEA, San Pablo, (1963)

III - COMUNICACIONES A CONGRESOS Y
REUNIONES CIENTIFICAS DE MEDICINA Y BIOLOGIA

- Efectos producidos por deuterones de 27.6 MeV en cabezas de ratas recién nacidas
J.Mayo, J.M.Feola, R.L.Cabrini
V. Simposio Interamericano sobre la Aplicación de la Energía Nuclear para Fines Pacíficos, Valparaíso (1964)
- Efectos producidos por haces de deuterones de distinta sección en las cabezas de ratas recién nacidas
J.M.Feola, J.Mayo, R.L.Cabrini
3ra. Reunión Anual de la Sociedad Arg. de Investigaciones Odontológicas (1964)
- Alteraciones histoenzímicas producidas en cabezas de ratas por haz de deuterones de 27,6 MeV
R.L.Cabrini, J.Mayo, R.L.Cabrini, M.E.Feola, M.E.Itoiz, F.A.Carranza (h)
3ra. Reunión Anual de la Sociedad Arg. de Investigaciones Odontológicas (1964)
- In situ enzyme changes produced by a deuteron beam on heads of rats.
J.Mayo, R.L.Cabrini, M.E.Itoiz, F.A.Carranza. E.E.Smolko
Third International Congress of Radiation Research
Cortina d'Ampezzo, Italia (1966).
- Effect of a microbeam of deuterons on rat heads
J.Mayo, R.L.Cabrini, F.A.Carranza, E.E.Smolko
Third International Congress of Radiation Research
Cortina d'Ampezzo, Italia, (1966)
- Estudio histoquímico de enzimas oxidativas en las lesiones producidas en cabezas de ratas recién nacidas por un haz de deuterones
R.L.Cabrini, J.Mayo, F.A.Carranza(h), M.E.Itoiz, E.E.Smolko
Rev.Asoc. Odont.Argentina, 54:63, (1965)
- Estudio histoquímico del efecto de un haz de deuterones sobre el germen dental.
E.E.Manfredi, M.E.Itoiz, R.L.Cabrini, J.Mayo
Rev. Asoc. Odont. Argentina, 55; 97 (1967)
- Histologic and histochemical analysis of the effect of irradiation with a deuteron beam on oral tissues and tooth germ.
M.E.Itoiz, F.A.Carranza (h), J.Mayo, R.L.Cabrini, E.E.Smolko
Helv.Odont. Acta 11; 124-130, (1967)

- Alteraciones cuantitativas de mastocitos en mucosa bucal y piel irradiadas con deuterones.
F.V.Dominguez, A.M.Ubios y J.Mayo
Rev.Asoc.Odont.Argentina, 55:98 (1967).

- Histophotometric analysis of enzymatic changes in oral tissues irradiated with a deuteron beam.
R.L.Cabrini, J.Mayo, M.E.Itoiz, F.A.Carranza(h), E.E.Smolko.
International Association for Dental Research- Abst.Nº594, Pag.186, (1968).

- Alteraciones histológicas producidas por un haz de deuterones.
J.Mayo, F.A.Carranza(h), E.E.Smolko, M.E.Itoiz y R.L.Cabrini.
Resumen del II Congreso de la Asociación Latino Americana de la Sociedad de Biología y Medicina Nuclear Nº32, Pag. 8 (1968).

- Enzymatic changes in tissues irradiated with deuterons.
R.L.Cabrini
Informe OIEA (1968)

- Micro spectrophotometric study of histoenzymatic reactions in rat epidermis subjected to 0.5 Mrad of d irradiation.
R.L.Cabrini, M.E.Itoiz, J.Mayo, E.E.Smolko and A.J.P. Klein-Szanto.
International Journal Radiation Biology 17 (1970).

IV - SERVICIO DE IRRADIACIONES

Se ha enviado material irradiado regularmente a las siguientes instituciones y laboratorios:

- Centro de Medicina Nuclear - Hospital de Clínicas - Universidad de Buenos Aires.
- Cátedra de Histología - Facultad de Medicina - Universidad de Buenos Aires.
- Instituto de Neurocirugía "Costa Buero" - Universidad de Buenos Aires.
- Hospital Rawson.
- Facultad de Agronomía y Veterinaria - Universidad de Buenos Aires.
- Departamento de Proyectos Especiales - Comisión Nacional de Energía Atómica.
- Departamento de Física - Universidad de Buenos Aires
- Departamento de Física - Universidad Nacional de La Plata.
- Laboratorio de Radiaciones - DINFIA.

Apéndice B

Estudio de la Selección de la Ubicación del Ciclotrón

APENDICE B.

ESTUDIO DE LA SELECCION DE LA UBICACION
DEL CICLOTRON.

- 1 - Factores de evaluación de la ubicación.
- 2 - Orden de importancia de los factores.
- 3 - Criterio fundamental de ubicación - Preselección de ubicaciones.
- 4 - Cuestionario de datos y características del proyecto.
- 5 - Datos y características pertinentes del proyecto.
- 6 - Comparación de las dos ubicaciones preseleccionadas.
- 7 - Conclusiones.

ESTUDIO DE LA SELECCION DE LA UBICACION DEL CICLOTRON

De acuerdo con las instrucciones oportunamente recibidas, se ha realizado el presente estudio para determinar la ubicación más conveniente para el ciclotron isocrono, cuya adquisición está siendo gestionada por la CNEA.

Para lograr el objetivo, se ha procedido de la siguiente manera:

- 1.- Se han definido los factores que intervienen en la evaluación de la ubicación.
- 2.- Se han establecido un orden de importancia para los mismos.
- 3.- Se ha establecido un criterio fundamental para la selección "a priori" de sitios convenientes. Se han seleccionado dos.
- 4.- Se ha elaborado un cuestionario referente a los datos y características del proyecto, que influyen en la evaluación de la ubicación.
- 5.- Se han determinado los datos y características del proyecto, según el cuestionario anterior.
- 6.- Se han comparado las dos ubicaciones preseleccionados, empleando los factores de evaluación y los datos y características pertinentes del proyecto.
- 7.- Se han llegado a conclusiones como resultado del análisis comparativo y se da una recomendación.

1. - Factores de evaluación de la ubicación

I) Disponibilidad del terreno apto

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1) Area disponible para | a) ciclotron |
| | b) edificio laboratorio |
| | c) facilidades auxiliares (haz) |
| | d) zona de control seguridad |
| 2) Características técnicas | a) capacidad de carga |
| | b) napa de agua |
| | c) acceso para transporte cargas |
| | d) acceso para personal |
| | e) disponibilidad de agua de refrigeración |
| | f) disponibilidad de fuerza motriz |

II) Satisfacción de reglamentación local

- | | |
|-----------------------|------------------------------------|
| 1) Riesgo radiológico | a) radiación fuera del blindaje |
| | b) contaminación aire, agua, suelo |

- 2) Altura de edificios
- 3) Emisión de radiofrecuencia
- 4) Zona residencial, fabril

III) Facilidades para la operación

- 1) Personal operativo
 - a) número requerido
 - b) distancia de residencia posible o probable
- 2) Personal de investigación
 - a) número previsto, estable y ocasional
 - b) procedencia: CNEA, Universidades, becados, etc.
 - c) distancia a lugar habitual de trabajo y/o residencia
- 3) Relaciones con otras actividades
 - a) otras dependencias de la CNEA
 - b) universidades
- 4) Servicios complementarios
 - a) administración central
 - b) seguridad (convencional)
 - c) limpieza
 - d) comedor
 - e) talleres
 - f) biblioteca

IV) Costo de la obra

- 1) Costo del terreno
- 2) Costo de la obra civil en función de las características técnicas del terreno
- 3) Costo de transporte de componentes
- 4) Costo de provisión de servicios esenciales (agua, fuerza motriz)

2.- Orden de importancia de los factores

Los factores del grupo I y II son "sine qua non". Los del grupo III son importantes para cumplir con la finalidad de la obra. Los del grupo IV tienen relativamente poca importancia frente a los anteriores, teniendo en cuenta el costo del ciclotrón (6 millones U\$S) y su finalidad (investigación); inciden en la selección en la medida que haya ubicaciones posibles en igualdad de condiciones frente a los grupo I, II y III.

3. - Criterio fundamental de selección - Preselección de ubicaciones

En primera instancia conviene considerar la posibilidad de instalar el ciclotrón en los Centros Atómicos existentes, que son:

- a) Ezeiza
- b) Bariloche
- c) Constituyentes
- d) Sede Central

La Sede Central quedaría descartada de inmediato por no disponer de espacio. Constituyentes también, por igual razón.

4. - Cuestionario de datos y características del proyecto

- a) Area requerida (forma y dimensiones)
 - ciclotrón
 - edificio laboratorio
 - facilidades auxiliares
 - zona de control seguridad
 - total
- b) Altura de edificios
- c) Cargas concentradas
- d) Piezas más pesadas (peso y tamaño)
- e) Requerimientos de agua de refrigeración
- f) Requerimientos de fuerza motriz
- g) Otros requerimientos esenciales, si existen
- h) Riesgo radiactivo: dosis esperadas en el interior del edificio ciclotrón, fuera del blindaje, en el edificio laboratorio, en las inmediaciones del haz de neutrones. Fuentes de contaminación del aire, agua, suelo. En condiciones normales de trabajo y en caso de accidentes.
- i) Emisión de radiofrecuencia, en condiciones normales y anormales. Posibilidad de blindar.
- j) Personal previsto en número y calificación, tanto estable como ocasional. Su procedencia.
- k) Planes de trabajo

5. - Datos y características pertinentes del proyecto

- Según la información suministrada por la Gerencia de Investigaciones -

a) Area Requerida

- Ciclotrón:

Rectángulo de $(46 \times 55) \text{ m}^2 = 2.500 \text{ m}^2$

Está compuesto de las siguientes áreas:

- 1) Recinto del ciclotrón $(21 \times 13) \text{ m}^2$
- 2) Area experimental $(14 \times 9) \text{ m}^2$
- 3) Area experimental $(14 \times 9) \text{ m}^2$
- 4) Area espectrógrafo magnético $(15 \times 20) \text{ m}^2$
- 5) Area grupo Generador.
- 6) Area de control, en un primer piso ubicado sobre el área 5).
- 7) Subsuelo, debajo del área 5), para la sala de bombas.
- 8) Subsuelo, debajo de las áreas 1) a 4).

Las paredes que separan el recinto del ciclotrón de las áreas experimentales y espectrógrafo magnético tienen 3 m de espesor, y son de hormigón denso en algunas partes.

El edificio del ciclotrón está rodeado de un muro de tierra que hace de blindaje.

El recinto del ciclotrón tiene una altura de 9 metros. El subsuelo tiene 3 metros de altura útil.

- Edificio laboratorios, facilidades auxiliares y zona de control de seguridad. Está adosado al del ciclotrón formando una L. Tiene 2 plantas, con un área de $(25 \times 80) \text{ m}^2$ cada una. En la planta baja de este edificio estará el taller mecánico, taller de electrónica, depósitos de materiales, laboratorios de: radioquímica, de análisis por activación, de preparación de blancos, de detectores de estado sólido y laboratorios auxiliares, además del área de control de seguridad.

En la planta alta: biblioteca y sala de seminarios, cuartos de los usuarios del ciclotrón, oficina de ingeniería electrónica. La altura de este edificio será de 3 a 9 metros.

- El área total ocupada por los dos edificios es entonces de 4.500 m^2 . Hay 6.500 m^2 cubiertos.

b) Altura de Edificios

Ambos edificios tendrán una altura máxima de 9 metros.

c) Cargas Concentradas

El ciclotrón, de 500 toneladas de peso, tiene una base de aproximadamente 8×3 metros.

d) Piezas más pesadas

El espectrógrafo magnético y el imán desviador tienen un peso de 20 toneladas cada uno, con una base de aproximadamente 2×2 metros.

e) Requerimientos de agua de refrigeración

Total: 30 m³/h de agua filtrada.

Este caudal se utilizará para disipar el calor del sistema primario de refrigeración del ciclotrón para el sistema de aire acondicionado (conectado separadamente), y para los sistemas primarios de refrigeración del espectrógrafo magnético, imán deflector múltiple, cuadrupolos.

La temperatura del agua de refrigeración debe estar entre 15 y 19°C; si es necesario se proveerá de una máquina enfriadora con ventiladores eléctricos para el circuito primario.

El sistema de refrigeración secundario del ciclotrón es un circuito cerrado.

El agua en este sistema se enfría mediante una unidad refrigerante, el agua pasa, luego de circular por las bobinas del ciclotrón, a través del intercambiador de calor del sistema primario, y retorna a la unidad refrigerante a través de la bomba de recirculación.

f) Requerimientos de fuerza motriz

El consumo estimado es de 1.600 kVA.

La instalación de fuerza motriz comprende 2 grupos generadores de corriente continua de 800 kVA para la alimentación del ciclotrón, espectrógrafo magnético, imán deflector múltiple y cuadrupolos, operados a control remoto; llaves magnéticas y transformadores trifásicos para los circuitos de alimentación. Tres transformadores trifásicos de 13,2 kV a 220/380 V, con 800 kVA cada uno, para la alimentación principal. Uno de ellos es de emergencia.

Un grupo generador Diesel de emergencia de 200 kVA y 220/380 V, al que se conectarán todas las cargas que deben permanecer en operación durante cortes de tensión: sistemas de refrigeración, circuitos de seguridad, luz, etc. Uno de los transformadores trifásicos de 800 kVA alimenta al ciclotrón, y compensa variaciones de tensión de hasta $\pm 15\%$.

g) Otros requerimientos esenciales

No se conocen.

h) Riesgo Radiactivo

El blindaje estará construido de modo tal que el fondo por neutrones térmicos no sea mayor de 12 neutrones por cm² y segundo, en los lugares de permanencia del personal, en el edificio del ciclotrón.

Para la eliminación de sustancias radiactivas se dispondrá de:

1) Para contaminación del aire:

El aire potencialmente radiactivo que circule por el edificio del ciclotrón, será filtrado antes de descargarse a la atmósfera.

El recinto de control, y el de contaje, que están dentro del edificio del ciclotrón, serán conectados a un sistema separado de aire acondicionado.

Para la sala de fuerza motriz del ciclotrón se instalará un sistema de ventilación separado, con el objeto de asegurar que las grandes cantidades de calor de este recinto se eliminen adecuadamente.

2) Para contaminación del agua

Se instalará un sistema de colección de desperdicios radiactivos líquidos, destinado a recoger todo desperdicio líquido contaminado con radiactividad

que se encuentre en la planta, previendo así la contaminación de las aguas cloacales.

El sistema consiste de:

- a) Una estación de colección y bombeo en el edificio del ciclotrón, y otra en el de laboratorios.
- b) Un sistema de 2 o más tanques de 2 ó 3 m³ cada uno, y uno de 5 m³, para recoger los líquidos contaminados antes de descargarlos al sistema cloacal.
Cada tanque deberá incluir una bomba, válvulas, filtros y un dispositivo para muestreo.
- c) Un equipo para transmitir las señales de alto nivel de actividad al recinto de control.

3) Contaminación del suelo

No se prevé un aumento significativo de la actividad en el suelo.

Transporte del material radiactivo

Para el transporte de material radiactivo se podrá instalar un sistema de tubos neumáticos, o un sistema de transporte de rieles, según cuales sean los requerimientos del grupo de preparación de radioisótopos.

Protección y monitoraje de la radiación

El sistema de protección del personal se instalará para toda área en que se pueda encontrar radiación gamma o n durante la operación del ciclotrón. El sistema actúa sobre la máquina, y corta la radiofrecuencia, con lo que deja de haber haz, cuando entra una persona en el área controlada.

Todas las puertas de acceso al área controlada tienen luces indicadores de que el ciclotrón está en operación.

Antes de poner en operación a la máquina el físico responsable deberá asegurarse de que no hay nadie en el área controlada, y operará la llave maestra para iniciar la irradiación.

Para el monitoraje se instalarán monitores fijos de gammas y neutrones en el recinto del ciclotrón, las áreas experimentales y el acceso a las mismas.

Los datos de la medición se transmitirán en forma continua al recinto de control, donde se graficarán automáticamente, los monitores deberán tener contactos que inicien una alarma si el límite permisible de la radiación es excedido, y corten la radiofrecuencia, cesando así la irradiación.

Se instalarán contadores de alfa, beta y gamma para manos y pies a la salida del recinto del ciclotrón y de las áreas experimentales.

En la entrada del sistema de descarga a la atmósfera del aire radiactivo que sale del recinto del ciclotrón y áreas experimentales, se instalará un monitor de aire, que detectará la cantidad de tritio y de todos los otros tipos de material radiactivo presentes.

La actividad de los desechos radiactivos líquidos se controlará por análisis de las muestras extraídas del sistema colector.

i) Emisión de radiofrecuencia

— según el informe de AEG —

" El generador de radiofrecuencia trabaja en la banda de frecuencia de 12 a 38 MHz. El generador es de construcción totalmente blindada. La totalidad de los conductores se conducen a través de filtros. El sistema de las Des se ejecuta igualmente en forma estanca para radiaciones de perturbación. La instalación total corresponde a las exigencias del Correo Federal Alemán y no constituye interferencia alguna con el tránsito de vuelo".

j) Personal previsto

Es difícil hacer una estimación precisa de la cantidad total de científicos que trabajarán con el ciclotrón isocrono. Un cálculo conservativo y aproximado, en el que se supone que el personal actual se duplicará con la nueva máquina es el siguiente:

Física Nuclear

Personal estable del Laboratorio del Ciclotrón Isocrono: 15

Personal de otros laboratorios de física nuclear de CNEA: 15

Física de Estado Sólido

Personal del Departamento de Metalurgia de CNEA: 6

Radioquímica

Personal del Departamento de Producción de Radioisótopos de CNEA: 5

Cristalografía y Fisicoquímica de las Radiaciones

Personal del Departamento de Radiaciones Atómicas y Moleculares de CNEA: 4

Análisis por Activación

Personal del Departamento de Química de CNEA: 10

Biología

Personal del Departamento de Radiobiología de CNEA: 5

No se han incluido en estas cifras los estudiantes universitarios no graduados, ni los estudiantes graduados que estén realizando tesis, que se estima serán de 10 a 20 personas.

Departamentos de Física de las Universidades Nacionales

Se espera que las Universidades de Buenos Aires y La Plata envíen estudiantes no graduados para realizar trabajos de investigación, estudiantes graduados para realizar tesis, además de los físicos nucleares que integran esos Departamentos.

Instituciones Extranjeras

Se prevé la colaboración con Instituciones de Alemania y Francia, lo que involucrará la presencia durante períodos de semanas a un año de científicos de otros países que vendrán a realizar programas de investigación, además de los becarios y estudiantes graduados de esos países.

Personal para la operación y mantenimiento del ciclotrón isocrono

Equipos eléctricos y mecánicos : 2 ingenieros, 12 técnicos

Equipos electrónicos : 2 ingenieros, 6 técnicos

Computación: 1 profesional, 2 técnicos
Personal de Limpieza: 3
Administración: 2 secretarías y telefonistas

El total aproximado de personas que trabajarán en el edificio del ciclotrón será de 100 (60 permanentes).

k) Planes de trabajo

Pasamos a detallar las experiencias que pueden realizarse en un ciclotrón isocrono:

Física Nuclear con partículas cargadas

Dispersión de protones. Reacciones de Stripping

Problema del movimiento de partícula independiente; estados de una partícula en el modelo de capas; modelo óptico. Se requieren experimentos que prueben la exactitud de la descripción de partícula independiente en la medición del coeficiente de parentesco fraccionado de los estados de una partícula en un núcleo con doble capa cerrada. Experiencias sobre resonancias análogas observadas por dispersión de protones o stripping a energías por debajo de la barrera Coulombiana.

Reacciones nucleares de interacción directa

Reacciones con transferencia de una o más partículas y acoplamiento partícula-agujero permiten evaluar parámetros de gran valor para el estudio de modelos nucleares.

Las mediciones de polarización y de sección total de reacción son de gran valor a tal fin.

Emisión de Clusters (conglomerados) del núcleo

La presencia de conglomerados de nucleones (como deuterones, tritones, alfa dentro del núcleo está determinado por las interacciones residuales de los nucleones fuera de las capas nucleares.

La existencia de conglomerados de deuterones y tritones en el litio se ha determinado usando protones de alta energía, pero faltan experimentos similares para núcleos pesados. Se requieren colisiones a energías del orden de 100 MeV para que las interacciones ocurran en un tiempo corto, expulsando así a un conglomerado anteriormente existente.

Mediante la dispersión inelástica con intercambio de cargas, y reacciones con transferencia de nucleones, se pueden estudiar cuestiones de actualidad tales como: 1) cuál es la participación relativa del neutrón y del protón en los modos de vibración dipolar, cuadrupolar y octopolar. 2) Si existe alguna correlación entre los spins y el movimiento orbital de los nucleones que participan en la vibración. 3) Cómo se afecta la correlación de pares por el movimiento vibracional.

Espectroscopia Nuclear

Se estudia el decaimiento de nucleidos para sistematizar sus propiedades e investigar los estados de energía. Las reacciones con energías de 100 ó más MeV producen núcleos de composición poco frecuente, que son de particular interés.

Física de Neutrones

Estudios de difracción de neutrones

Se puede hacer la determinación de estructuras nucleares y cristalinas con un cristal único; la locación de átomos de hidrógeno, especialmente de aquellas uniones hidrógeno en sustancias interesantes desde el punto de vista biológico; locación de átomos de oxígeno y fluor en complejos metálicos; estudios de estructuras magnéticas.

Espectroscopia de dispersión de neutrones

Movimientos intermoleculares y modos vibracionales de baja frecuencia de moléculas que contienen elementos livianos, utilizando haces de neutrones muy lentos.

Estudios del estado sólido por dispersión elástica e inelástica de neutrones.

Estudios complementarios a las técnicas de resonancia magnética nuclear en sistemas macromoleculares.

Reacciones inducidas con neutrones de alta energía

La mayoría de las reacciones nucleares se ha investigado con haces incidentes de protones. Es de importancia comparar esos resultados con los obtenidos cuando se usan otros proyectiles, especialmente neutrones. Esta información ayudará a conocer el rol del proyectil que inicia la reacción nuclear.

Física del sólido

Daño por radiación, para Metalurgia

Se podrán emplear haces de iones, y neutrones térmicos y rápidos para estudiar el efecto de daño por radiación en sólidos. Se puede investigar la descomposición y cambio de propiedades físicas de sistema poliatómicos por bombardeo de fragmentos de fisión y neutrones rápidos.

Preparación de Fuentes Mössbauer

Se las puede preparar, incluyendo las de vida corta, para su aplicación en estudios de importancia, incluyendo el examen de defectos en sólidos, y estado sólido.

Química Nuclear

Los experimentos que interesan a los químicos nucleares incluyen algunos de los mencionados antes. Se pueden describir los siguientes campos de utilización del ciclotrón:

Reacciones nucleares

Reacciones en que algunos nucleones son emitidos y se establece la naturaleza de los niveles y determina la naturaleza de la superficie nuclear.

Reacciones de Spallation

Estas reacciones se caracteriza por la emisión de un gran número de nucleones del núcleo básico. La investigación de los productos de esas reacciones lleva a la comprensión de la desintegración del núcleo excitado.

Fisión

Este proceso nuclear es uno de los más difíciles de explicar. Las reacciones con proyectiles de centenares de MeV proporcionan un modo de estudiar la fisión de núcleos de composición poco usual, y de determinar la importancia relativa de la fisión versus spallation para esos núcleos.

Se requieren muchos experimentos para arrojar alguna claridad sobre estos procesos.

Estudios de esquemas de desintegración

Mediante la fisión del uranio, y por captura múltiple de neutrones, se podrán preparar nucleidos con exceso de neutrones, y de vida corta.

Estudios de Átomos Calientes

Se podrán usar reacciones de captura de neutrones para producir átomos radiactivos con energías cinética y de excitación electrónica mucho mayores que las obtenidas térmicamente. Se podrán realizar estudios de mecanismos de reacciones químicas de estado sólido, preparación de compuestos marcados orgánicos e inorgánicos.

Estudios con Tracers

Se estudian procesos químicos y biológicos introduciendo una especie radiactiva y siguiendo su curso mediante la reacción. Esta técnica permite investigar reacciones detalladas y obtener información que de otra manera no podría lograrse. Los nucleidos producidos por reacciones de alta energía son muy convenientes para esta aplicación.

Química de radiaciones

Se pueden estudiar los efectos físicos y químicos de haces de partículas sobre sistemas de interés químico:

Con protones de 100 MeV, se podrán estudiar los procesos de química de radiaciones resultantes de la excitación electrónica e ionización de las moléculas de un medio irradiado por protones. Se pueden realizar estudios espectroscópicos de absorción y emisión en el lugar, mediante haces continuos o pulsados de protones.

Química de radiación de neutrones

Se podrán realizar estudios químicos de radiación inducida por la generación interna de radiaciones ionizantes por captura de neutrones térmicos por núcleos del medio, tales como ^1H (n, gamma), ^2H y ^{14}N (n, p) ^{14}C .

Análisis por activación

El uso de un ciclotrón ofrece posibilidades para el análisis por activación que no puede proporcionar un reactor.

Se puede hacer activación con neutrones rápidos, utilizando el haz externo del ciclotrón incidente sobre un blanco de berilio o tantalio, que da neutrones de menor energía. Con este método se pueden determinar las trazas de elementos para una gran variedad de aplicaciones, principalmente Metalurgia, Agricultura y diversos procesos industriales.

También se podrá hacer análisis por activación por partículas cargadas. En ese caso los espectros obtenidos son mucho más complicados que con la irradiación con neutrones. Si se dispone de un espectrómetro de centelleo y se miden espectros a intervalos después de la irradiación, el método de activación proporciona una inmensa variedad de posibilidades.

Radiobiología

Los haces intensos de protones e iones pesados de alta energía tienen muchas aplicaciones en investigaciones médicas y biológicas asociadas con las propiedades de ionización específica de estas partículas.

- 1) Estudios del efecto de haces de partículas cargadas de alta energía sobre diferentes tejidos animales, para su posterior análisis histológico e histológico-químico.

- 2) Producción de radioisótopos de vida corta para fines médicos. Los métodos de diagnóstico con la ayuda de indicadores radiactivos están extendiéndose cada vez más en el país, para estudios del funcionamiento de la glándula tiroides, diagnóstico del sistema circulatorio y localización de tumores.

Para disminuir la dosis de radiación que recibe el paciente se requiere una vida media corta del isótopo, y eso hace necesaria la cercanía de un ciclotrón para proveerlo. Por ejemplo, para pruebas del funcionamiento cardíaco es esencial que el isótopo tenga una vida muy corta; su rápida circulación en el torrente sanguíneo obliga a inyectar dosis de alta actividad; el isótopo ^{11}C con su vida media de 20 minutos, producido por el ciclotrón isocrono, es por ello mucho más adecuado que los isótopos de vida larga usados anteriormente.

Otro ejemplo es el ^{63}Zn , que es absorbido selectivamente por los tumores

- 3) Estudio de componentes orgánicos.

6. - Comparación de las dos ubicaciones preseleccionadas

Las dos ubicaciones preseleccionadas son:

- a) Centro Atómico Ezeiza
- b) Centro Atómico Bariloche

I) Disponibilidad de terreno apto

- Ambas ubicaciones disponen del área requerida por el proyecto.
- Las características técnicas del terreno, en ambas ubicaciones, admiten la instalación del ciclotrón.
- En el caso de Ezeiza, existe ventaja del punto de vista de facilidad de transporte de cargas y la disponibilidad de fuerza motriz. Bariloche en cambio, ofrece mejores condiciones en cuanto a la disponibilidad de agua de refrigeración.

II) Satisfacción de reglamentación local

- Ambas ubicaciones son satisfactorias en cuanto al riesgo radiológico, aceptando que el proyecto cumpla los requerimientos de la Gerencia de Seguridad e Inspección.
- La altura de los edificios no significa impedimento.
- La emisión de radiofrecuencia - que podría haber significado un problema para Ezeiza por causa de la cercanía al aeropuerto - no causaría dificultades, según la información suministrada por la firma AEG.
- En ambas ubicaciones, por tratarse de Centros Atómicos, resulta posible instalar el ciclotron, sin que haya reglamentaciones zonales que lo prohiban.

III) Facilidades para la operación

- Ezeiza resulta ser una ubicación más favorable para el ciclotron que Bariloche desde este punto de vista, dado que:
- ofrece la posibilidad de emplear el personal operativo existente del mismo ciclotron, sin tener que trasladarlos de sus domicilios actuales.

- puede ser utilizado - sin problemas de traslado - por los investigadores de la Gerencia de Investigaciones y otras gerencias y departamentos de la CNEA (Radioisótopos, Metalurgia, Química, Radiobiología), como así también de otras instituciones radicadas en Buenos Aires y La Plata;
- ofrece la posibilidad de aprovechar los servicios complementarios que le puede facilitar la CNEA, tanto en el Centro Atómico Ezeiza como en su Sede Central.

La ubicación del ciclotron en Bariloche favorecería el desarrollo del Instituto J. A. Balseiro al agregar un importante aparato de investigación a los actualmente existentes en dicho centro, pero significaría tener que enfrentar el problema del traslado de un gran número de investigadores y técnicos. Además, limitaría seriamente la posibilidad de su empleo racional por parte de la CNEA y demás institutos de investigación.

IV) Costo de la obra

- No se ha analizado en detalle el costo de la obra civil y facilidades auxiliares, en función de la ubicación. Probablemente no habría sustanciales diferencias.
- El costo de los equipos sería incrementado por la alternativa Bariloche, debido al mayor gasto en transporte.
- El costo de la operación y el mantenimiento del ciclotron, incluyendo los gastos que demanda la investigación, probablemente sería superior en Bariloche que en Ezeiza.

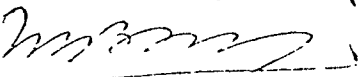
7.- Conclusiones

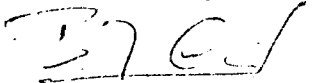
- Ambas ubicaciones preseleccionada, Ezeiza y Bariloche, son satisfactorias en cuanto a la disponibilidad del terreno apto.
- La ubicación en el Centro Atómico Ezeiza ofrece mayores ventajas que Bariloche, en lo que respecta a las facilidades para la operación del ciclotron y el cumplimiento de su finalidad.
- El costo del proyecto sería probablemente inferior en Ezeiza que en Bariloche.

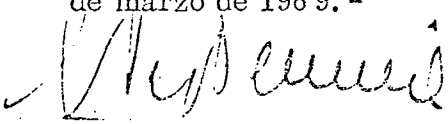
En consecuencia, se recomienda elegir el Centro Atómico Ezeiza como ubicación más conveniente para el ciclotron.

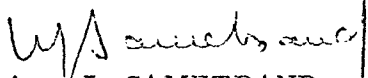
BUENOS AIRES,

de marzo de 1969. -


Martín B. A. CRESPI


Béla José CSIK


Emma V. PEREZ FERREYRA


Moises J. SAMETBAND

Apéndice C

Llamado a Licitación

APENDICE C.

LLAMADO A LICITACION

- 1 - Adjudicación
- 2 - Especificaciones del Ciclotrón Isócrono
- 3 - Descripción Técnica
- 4 - Especificaciones de las Obras Civiles
- 5 - Lista de Repuestos
- 6 - Suministros y Prestaciones de la Industria Argentina
- 7 - Garantías Técnicas
- 8 - Entrenamiento del Personal
- 9 - Información, Inspección y Ensayos
- 10 - Puesta en Marcha
- 11 - Observación de Medidas de Seguridad

1. OBJETO.

La CNEA llama a licitación pública para la compra e instalación de un ciclotrón isócrono e instalaciones auxiliares que se detallan en el pliego de condiciones técnicas adjunto, en lo sucesivo sistema.

1.0.1. NORMAS JURIDICAS DE APLICACION.

Para la presente licitación rigen normas establecidas en el Decreto N° 6900/63, reglamentario del Artículo 61 de la Ley de Contabilidad y las contenidas en éste pliego de condiciones especiales y en el de condiciones técnicas. Para todas las cuestiones legales judiciales o extrajudiciales que se susciten como consecuencia de la presente contratación, las partes se someterán a la jurisdicción exclusiva de los Tribunales de la Capital Federal de la República Argentina con renuncia de cualquier otro fuero o jurisdicción.

1.0.2. REQUISITOS GENERALES.

A) Relativos a la forma de la presentación.

1) Las empresas deberán ajustar su presentación de modo de separar claramente los capítulos siguientes:

I) Características técnicas, descripción del equipo ofrecido y sus variantes e información adicional requerida en este rubro.

II) Información referente a la utilización de sistemas similares al ofrecido.

III) Planes de instalación, apoyo técnico de la empresa y toda la información adicional requerida en este punto.

IV) Precios y financiación.

- 2) Las empresas podrán adjuntar aparte toda la información que estimen necesaria bajo la forma de folletos o prospectos ilustrativos.
- 3) En respuesta a descripciones generales solicitadas en la documentación presente, se recomienda la concisión y brevedad haciendo resaltar en cada oportunidad los puntos que se estimen esenciales. En dicha circunstancia se estimará la referencia concreta a la bibliografía que se adjunte.
- 4) Las empresas deberán llenar en todo el detalle posible las planillas de información técnica anexas al pliego de condiciones técnicas.

B) Relativos al Sistema.

- 1) El o los sistemas que cada empresa cotice se deberá ajustar íntegramente a lo detallado en el pliego de condiciones técnicas.
- 2) El oferente deberá adjuntar en ese capítulo de su presentación todas las explicaciones y diagramas requeridos así como las descripciones de las partes opcionales ofrecidas.

C) Relativos a la Empresa Oferente.

- 1) La empresa oferente deberá tener domicilio legal en la República Argentina.
- 2) Las empresas oferentes deberán tener una organización técnica en la Argentina satisfactoria a exclusivo juicio de la CNEA como para poder garantizar la provisión de partes y repuestos y el asesoramiento necesario para el mantenimiento del sistema.

D) Relativos a la Instalación y a la Puesta en Marcha.

Se define Puesta en Marcha del equipo al momento en que los equipos son librados para el uso de la CNEA cumpliendo las condiciones estipuladas en las especificaciones técnicas.

Se define Plan de Preinstalación al ordenamiento de todas las tareas que se presentarán desde la adjudicación hasta la puesta en marcha del sistema.

- 1) La empresa deberá programar el plan de preinstalación y deberá incluirlo en su presentación.
- 2) En dicho plan se discriminará las tareas que correspondan a la CNEA y a la empresa oferente.
- 3) En dicho plan se establecerán plazos máximos y mínimos para las distintas etapas del mismo.
- 4) En su presentación la empresa deberá designar uno o varios directores del plan de preinstalación cuya responsabilidad será la de asesorar y capacitar al personal de la CNEA que ésta afecte al futuro uso y mantenimiento del

equipo. Deberá(n) ser el(los) responsable(s) directo(s) y coordinador(es) de los distintos aspectos del plan de preinstalación, que correspondan a la adjudicatoria.

- 5) La dedicación del(los) director(es) a su tarea deberá ser exclusiva.
- 6) Además del(los) director(es) la(s) empresa(s) oferente(s) deberá(n) adjuntar una lista del personal afectado por la misma a las tareas del plan de preinstalación. En dicha lista se discriminará sus funciones y su dedicación.
- 7) La instalación del sistema se hará en el lugar que la CNEA determine.
- 8) Dentro de las tareas del plan de preinstalación será responsabilidad de la empresa la construcción del(los) local(es) en que se instale el sistema.

1.0.3. FORMA DE COTIZACION Y CONDICIONES DE FINANCIACION.

- 1) La empresa oferente deberá consignar en planillas separadas los precios y financiación del sistema ofrecido y sus partes opcionales.
- 2) Deberán consignarse aparte todos los gastos adicionales y los rubros a que correspondan. La CNEA no pagará ningún monto que no haya sido establecido en las planillas que se incluyan en la presentación.
- 3) Los precios deberán ser FOB en puerto de embarque libre a bordo de buque o avión.

- 4) La financiación del equipo que se compre deberá ajustarse en todo a las disposiciones establecidas por el Banco Central.

1.0.4.

INFORMACION ADICIONAL REQUERIDA.

- A) Relativa a los antecedentes del uso del(los) sistema(s) ofrecido(s).
 - 1) La empresa oferente deberá incluir en su presentación una lista de Universidades, Laboratorios, y Centros de Investigación, estatales o privados, que utilicen, o que incorporen en el curso del próximo año sistemas como el ofrecido o similares.
 - 2) En dicha lista se deberá consignar:
 - a) Nombre de la institución.
 - b) Equipo en uso (brevísimas descripciones comparativas con el sistema ofrecido a la CNEA)
 - c) Fecha de puesta en marcha.
- B) Relativa a la instalación, puesta en marcha y operación del sistema.
 - 1) La empresa deberá consignar en su presentación:
 - a) Cantidad y calidad del personal técnico necesario para el normal funcionamiento de la facilidad.
 - b) Plan de afectación progresivo de personal técnico a seguir desde el momento de la adjudicación hasta la puesta en marcha del equipo.

- 2) La empresa deberá proporcionar conjuntamente con el nombre del director y de los principales responsables del plan de preinstalación, el curriculum vitae de los mismos.
- 3) La empresa deberá proveer de una lista de los planes de entrenamiento y capacitación, así como de sus responsables y la dedicación de los mismos.
- 4) La empresa dará una descripción de todo el apoyo adicional que pueda ofrecer por intermedio de cualquiera de sus ramas o dependencias, que no se encuentren específicamente mencionados más arriba.
- 5) La empresa deberá efectuar una estimación mínima y recomendada de la superficie y características del terreno necesario para el eficiente funcionamiento del sistema.
- 6) La empresa deberá proveer a la CNEA.
 - a) Proyecto completo de los edificios destinados al sistema, a las instalaciones auxiliares y al personal, que deberá ser aprobado por la CNEA una vez adjudicada.
 - b) Especificaciones de todo aquello que no estando explícitamente mencionado en la definición del sistema dada en el pliego de condiciones técnicas adjuntas, sea necesario para el normal funcionamiento del sistema e instalaciones auxiliares.
 - c) Cronograma(s) en el(los) que se establezca(n) en que momento la CNEA deberá proporcionar cada elemento necesario para

la instalación y puesta en marcha del sistema, optimizando los tiempos de realización de la obra.

1.0.5. LUGAR DE PRESENTACION DE LAS OFERTAS.

Las ofertas deberán ser presentadas en la Sede Central de la CNEA. Avenida del Libertador 8250, Capital Federal y los sobres serán abiertos en el mismo lugar.

1.0.6. PLAZO DE MANTENIMIENTO DE LA OFERTA.

La oferta de la empresa deberá ser mantenida por un plazo de 90 días.

1.0.7. PROVISION DE INFORMACION COMPLEMENTARIA.

La empresa oferente se obliga a proporcionar toda la información adicional requerida o aclaraciones necesarias para la mejor evaluación de la oferta y necesaria para la adjudicación.

1.0.8. NORMAS PARA LA ADJUDICACION.

- 1) Las empresas podrán hacer consultas por escrito, personal o telefónicamente a la CNEA hasta un plazo de un mes antes de la fecha fijada para la apertura de las ofertas.
- 2) Cumplidos con los requisitos técnicos consignados en el pliego de condiciones técnicas serán tomados en cuenta y considerados como factores que decidirán la adjudicación el mayor grado de satisfacción que ofrezcan en cuatro niveles de prioridad, los siguientes parámetros:

Primera Prioridad: Características Técnicas.
Segunda Prioridad: Precio y financiación.
Tercera Prioridad: Utilización de sistemas similares.
Cuarta Prioridad: Apoyo general de la empresa.

- 3) Los antecedentes del sistema que serán tenidos en cuenta en la tercera prioridad del punto 2) son los requeridos en el apartado A) del punto 5) de Información Adicional Requerida.
- 4) La evaluación del apoyo general de la empresa mencionada en la cuarta prioridad enunciada en el punto 2) se basará en:
 - a) Calidad del personal afectado por la empresa para apoyo de la CNEA durante la instalación y operación del equipo.
 - b) Horas hombre destinadas por la empresa para apoyo a la CNEA.
 - c) Asesoramiento y cursos de capacitación.
 - d) Mejor servicio técnico de Provisión de repuestos y Asesoría que la empresa ofrezca durante la operación del equipo.
- 5) El llenado fragmentario o incompleto de las planillas de especificaciones técnicas adjuntas al pliego de condiciones técnicas redundará en una asignación de bajas prioridades en la evaluación de los puntos detallados en 4).

1.0.9. GARANTIAS.

El adjudicatario deberá constituir una garantía del 20% (veinte por ciento) del valor de los elementos que se decida comprar, la cual podrá ser realizada mediante aval bancario o seguro de caución.

1.10.

PENALIDADES.

La CNEA aplicará al adjudicatario las penalidades establecidas en el Reglamento de Contrataciones del Estado, Decreto 6900/63, pudiendo llegar a la rescisión del contrato con pérdida del monto que constituye el depósito de garantía así:

- a) El sistema provisto por la adjudicataria no se ajusta a la información contenida en la oferta.
- b) La adjudicataria no cumple con algunos de los requisitos contenidos en éste pliego y en el de condiciones técnicas.

2. ESPECIFICACIONES DEL CICLOTRON ISOCRONO.

2.1. ENERGIA.

El ciclotrón isócrono deberá tener una energía variable desde 10 MeV hasta 130 MeV para protones, y las energías correspondientes para iones livianos como alfas, deuterones, helio-3, tritones. Deberá poder acelerar también iones más pesados como $^{12}\text{C}^{4+}$, N^{3+} , N^{4+} , Ar^{5+} , $^7\text{Li}^{2+}$, $^{16}\text{O}^{5+}$, $^{20}\text{Ne}^{5+}$, hasta una relación de q/m de 1/5 como mínimo.

2.2. INTENSIDAD DE CORRIENTE.

La intensidad de corriente para protones y deuterones deberá poder llegar hasta 50 μA de haz externo. La firma oferente deberá especificar dentro de qué rango de energías se obtendrá ésta intensidad. El sistema de extracción tendrá una eficiencia mejor que el 50%.

2.3. PROPIEDADES DEL HAZ EXTERNO.

La emitancia del haz externo deberá ser mejor que 20mm mrad. para el 80% de la intensidad del haz. La resolución en energía (FWHM) será mejor que el 0.3%.

La región central del campo magnético deberá tener un sistema que permita programar las primeras órbitas de iones de modo tal que, cuando los usuarios deseen llevar la resolución a un valor mejor que el 0,1%, esto pueda realizarse de manera rápida y sencilla. Este sistema podrá retirarse de la misma manera cuando se desee operar el ciclotrón con máxima intensidad de haz.

Deberá poderse instalar además un sistema de tiempo de vuelo para neutrones y partículas cargadas.

3. DESCRIPCION TECNICA.

3.0. NORMAS GENERALES.

3.0.0. La energía eléctrica primaria se tomará de una red trifásica no estabilizada de 3 x 380gV y 50 Hz.

3.0.1. Todo el sistema deberá ser diseñado de manera que el consumo de energía eléctrica sea mínimo.

3.0.2. Si las especificaciones de cada sistema equipo o componente que figuran en el presente pliego resultan insuficientes para el correcto funcionamiento del ciclotrón, deberán ofrecerse las mínimas necesarias para su buen funcionamiento.

3.0.3. Todos los sistemas, equipos y componentes no suficientemente especificados en el presente pliego, deberán cumplir con las normas DIN que traten sobre el tema.

3.0.4. Se deberán normalizar todo lo posible los equipos y elementos a utilizar, a fin de reducir las existencias de repuestos.

3.0.5. Para el ciclotrón, sus sistemas, y cada uno de sus equipos constitutivos y auxiliares, se deberá proveer, un manual en castellano que deberá contener como mínimo:

- a) El objeto del equipo, principio en que se basa, descripción técnica y especificaciones.
- b) Diagrama en bloque, esquemático de cableado y planos mecánicos.

- c) Lista de partes, con el código y descripción de cada elemento, nombre, dirección y código de su fabricante.
- d) Instrucciones para su operación, mantenimiento, reparación y ajuste.

3.0.6. La distribución de los equipos y su armado deberán permitir acceder fácilmente a todos sus elementos y componentes para eventuales reparaciones o ajustes.

3.1. ELECTRO IMAN PRINCIPAL.

3.1.1. YUGOS.

Los yugos serán contruídos de acero especial para ciclotrones, con bajo contenido de carbono, cobalto y fósforo. La parte superior del yugo deberá poderse levantar para retirar la cámara de aceleración.

3.1.2. POLOS.

Los polos serán contruídos de acero forjado de alta calidad, de manera de asegurar la máxima homogeneidad posible del material.

Serán obtenidos de una misma colada, para garantizar su identidad.

El eje de los polos deberá coincidir con el eje original del lingote para asegurar una perfecta simetría azimutal.

3.1.3. SECTORES.

Los sectores serán idénticos entre sí y contruídos del mismo tipo de acero que los polos.

3.1.4. BOBINAS.

Las bobinas serán de cobre de alta pureza y de sección rectangular, con un orificio central para refrigeración si así se requiere.

La aislación entre conductores y entre galletas será eficiente.

Serán sometidas a un proceso de impregnación si se lo requiere a fin de otorgárle rigidez mecánica.

3.1.5. ALIMENTACION DEL IMAN PRINCIPAL.

El imán será alimentado por una fuente estática de corriente constante con una estabilidad mejor que $\pm 2 \cdot 10^{-5}$.

El valor de la corriente se podrá variar desde la consola de comando.

3.1.6. ALIMENTACION DE LAS BOBINAS DE AJUSTE.

Las bobinas de ajuste serán alimentadas por fuentes estáticas de corriente constante con una estabilidad mejor que $\pm 1 \cdot 10^{-3}$.

El valor de la corriente se podrá variar desde la consola de comando.

La cantidad de tipos distintos de fuentes que se necesitarán para ello no será mayor que 4 y de preferencia, menor que esta cantidad. De cada uno de estos tipos distintos se proveerá una unidad adicional que servirá de repuesto, debiendo existir facilidades de intercambiabilidad entre las unidades del mismo tipo.

3.1.7. CONTROL DEL CAMPO.

Una vez armado el electroimán será relevado el campo magnético y corregidas las irregularidades que pudiesen aparecer.

Deberá entregarse copia de estas mediciones al comprador, como así también de los cálculos que se hagan para determinar los valores de los distintos parámetros que corresponden a las diferentes partículas aceleradas a distintas energías.

3.1.8. ACCESORIOS.

Habrá un sistema hidráulico para elevación de; yugo, bobina y polo, superiores, para retirar y permitir posibles trabajos dentro de la cámara de aceleración, y volverlos a su posición primitiva sin variar su alineación.

3.2. SISTEMA DE RADIO FRECUENCIA.

3.2.1. SISTEMA DE ACELERACION.

El sistema de aceleración estará compuesto de dos electrodos (DES) que podrán trabajar push-push y push-pull, con sus respectivas cavidades resonantes.

Estas últimas permitirán variar la frecuencia de resonancia dentro del rango requerido por la máquina, aún con la máquina en funcionamiento. La sintonía de las mismas se efectuará en forma totalmente automática, sin perjuicio de poder hacerlo en forma manual.

El efecto multipackting no interferirá con el normal funcionamiento de la máquina.

3.2.2. GENERADOR DE RADIO FRECUENCIA.

La radio frecuencia se obtendrá a partir de un sintetizador de frecuencias de comando digital y estabilidad mejor que 10^{-7} cuya salida será amplificada hasta tener la potencia necesaria.

La tensión final de radio frecuencia estará estabilizada mejor que 10^{-3} .

La frecuencia y amplitud se podrá variar desde la consola de comando.

Las etapas de salida estarán protegidas frente a eventuales descargas en el sistema de aceleración.

3.3. SISTEMA DE VACIO.

3.3.1. CAMARA.

La cámara estará construída con acero antimagnético e inoxidable.

3.3.2. EQUIPO DE BOMBEO.

El equipo de bombeo deberá asegurar una presión de trabajo mejor que 1×10^{-5} torr con Fuente de Iones funcionando.

Se proveerá una línea de prevacío con terminal en los lugares de trabajo para usos eventuales.

3.4. SISTEMA DE REFRIGERACION.

El sistema de refrigeración estará diseñado para mantener la temperatura de trabajo necesaria en todos los puntos de la máquina.

Tendrá un circuito primario, que utilizará agua deionizada, que estará comunicado con el circuito secundario por medio de un intercambiador de calor.

El circuito secundario utilizará agua de pozo, y contará con facilidades para efectuar su desincrustación.

Se proveerá un equipo de fabricación de agua deionizada con medidor de R, para suplir las necesidades del ciclotrón.

3.5. SISTEMA DE FUENTE DE IONES

3.5.1. FUENTE DE IONES.

El ciclotrón estará provisto de dos tipos de fuentes de iones:

- a) Fuente de Iones interna, del tipo Livingston.
- b) Fuente de Iones externa, que se montará verticalmente a través del yugo.

3.5.2. OPERACION DE LA FUENTE DE IONES.

Todo tipo de fuente de iones proporcionado por la firma deberá ser de diseño robusto, tener un funcionamiento estable sin variaciones bruscas o "jitter" de la corriente de iones.

Se deberá poder ajustar su posición mediante control remoto desde el recinto de control del ciclotrón.

3.5.3. REGION CENTRAL.

La región central de la cámara de aceleración deberá estar diseñada de manera de que las orbitas de los iones estén bien separadas, y de que el haz externo sea de alta calidad.

Deberá admitir un sistema de ranuras que pueda colocarse y retirarse con rapidez y facilidad, para obtener una resolución en energía mejor que 0.1% cuando así se lo desee.

Deberá ser lo suficientemente amplio como para admitir un sistema para realizar tiempo de vuelo con neutrones o partículas cargadas.

3.5.4. FUENTES DE PODER PARA LA FUENTE DE IONES.

El equipo deberá estar diseñado de modo tal que en el futuro se le pueda agregar un generador de impulsos para pulsar la fuente de iones.

3.6.

SISTEMA DE EXTRACCION

Los componentes magnéticos del sistema de extracción del haz serán ajustados al iniciarse la marcha del acelerador. No será necesario ajustar mecánicamente al sistema de extracción durante la operación del acelerador, salvo cuando se pase de un tipo de partícula a otro.

El sistema de extracción, que forma en conjunto un sistema óptico, permitirá la variación controlada y reproducible de los focos radial y axial del haz extraído, dentro de límites amplios.

3.7.

SISTEMA DE TRANSPORTE DEL HAZ.

El sistema de transporte del haz constará de:

- a) Un imán deflector de 7 salidas.
- b) Un sistema de analizadores magnéticos para obtener una dispersión mejor que 10^{-4} en el haz externo.
- c) Sistemas de cuadrupolos dobles y tripletes para el enfoque del haz en el sistema de transporte, más los tubos de unión entre los diversos elementos.
- d) Dos cámaras de dispersión.
- e) Sistema de vacío previo y de alto vacío, con sus medidores y control de estanqueidad.
- f) Grupos generadores para la excitación de los elementos electromagnéticos del sistema de transporte.
- g) Sistemas de control, estabilización y alarma para la operación del sistema de transporte del haz.
- h) Sondajes NMR para la regulación de los campos magnéticos que así lo requieran.

3.8.

ESPECTROGRAFO MAGNETICO.

El espectrógrafo magnético será utilizado en el análisis de productos de reacción. El valor de B.R. máximo corresponderá al de 130 MeV de protones. Sus parámetros podrán ser del tipo de polo dividido de Enge, pero se definirán específicamente a la firma del contrato, para aprovechar los últimos desarrollos en materia de espectrógrafos. La firma oferente deberá hacer una estimación del precio tope del espectrógrafo completo e instalado.

3.9.

SISTEMA DE MEDICION DEL HAZ.

La corriente interna de la máquina deberá poderse medir en radios seleccionables por el operador desde la consola de control; también se deberá medir la corriente a la entrada del sistema extractor.

Deberá medirse el desfasaje entre el haz de iones y la tensión de radio frecuencia simultáneamente a distintos radios de la máquina, mediante sondas apropiadas.

La salida de estas sondas será desplegada en un osciloscopio del tipo multitrazo y utilizada para el control automático de la corriente de las bobinas circulares, sin perjuicio de poder hacer el ajuste manual cuando así se lo desee.

Deberá efectuar las siguientes tareas:

- 1) Recoger información sobre el valor preseleccionado para los distintos parámetros esenciales de funcionamiento del ciclotrón (tales como corrientes por las bobinas, amplitud y frecuencia de la RF, posición de blancos, sondas y fuente de iones, etc.), la que será registrada en cinta perforada en código ASCII e impresa en tira de papel.
- 2) Medir digitalmente el valor real de dichos parámetros, registrarlos e imprimirlos.
- 3) Emitir mensajes de advertencia frente a discordancias entre los valores reales y los preseleccionados de los distintos parámetros.
- 4) Las tareas anteriores podrán efectuarse tanto por comando manual, como en forma e intervalos programables. Se podrá agregar a cada registro y/o impresión la hora del día. Se podrá imprimir un registro.
- 5) Calcular los valores en que se deben seleccionar los distintos parámetros para obtener la aceleración de las distintas partículas de diferentes energías que la máquina es capaz de producir. La realización de este cálculo no interrumpirá la ejecución de las tareas 1 a 4 que estén programadas.

El sistema deberá permitir su expansión de manera de poder llegar a efectuar las siguientes tareas adicionales:

- 6) Fijar los valores de los parámetros en los calculados en el punto 5).
- 7) Ajustar los valores de los mismos a fin de optimizar la performance del acelerador.

3.11. SISTEMA DE CONTROL.

La máquina será operada desde una sala de control que tendrá una consola de comando y paneles de señalización.

El operador deberá poder visualizar desde su ubicación en la consola los paneles de señalización.

3.11.1. CONSOLA DE COMANDO.

La consola de comando poseerá todos los controles necesarios para el encendido, puesta en marcha y apagado de la máquina.

Estos controles serán del tipo si-no o llaves digitales, de manera de permitir en una posterior extensión del control de los mismos por computadora. Deberán proveerse facilidades para esta extensión.

Podrá tener asimismo elementos de señalización y/o instrumentos de medición.

Cada sistema de la máquina deberá tener asignada una zona de ubicación en la consola.

3.11.2. PANELES DE SEÑALIZACION.

Los paneles de señalización poseerán todos los elementos necesarios para permitirle al operador supervisar el normal funcionamiento de la máquina y localizar rápidamente a cualquier desperfecto cuando este se produzca.

Cada sistema de la máquina deberá tener asignada una zona perfectamente identificada de ubicación en el panel, conforme a la secuencia de puesta en marcha del ciclotrón.

Tendrá un monitor de T.V. que recibirá imágenes de cámaras ubicadas en:

- a) Recinto del ciclotrón
- b) Una en cada cueva
- c) Una de repuesto

Desde la consola de comando se podrá seleccionar el canal, ajustar el foco, y variar orientación de la cámara.

3.12. SISTEMA DE SEGURIDAD.

El ciclotrón tomado como unidad y cada una de sus partes individuales estarán protegidos contra incidentes de funcionamiento y/o falsas maniobras del operador.

Las instalaciones generales de agua y electricidad estarán protegidas contra sobrecargas y funcionamiento anormal.

Ningún equipo podrá ser puesto en marcha si no se cumplen las condiciones adecuadas para su funcionamiento o no se ha efectuado un paso preliminar. Si durante el mismo falla alguna de estas condiciones, el equipo se detendrá automáticamente indicando su falla.

Todos los circuitos de refrigeración poseerán controles de caudal, presión y temperatura.

Todas las fuentes de alimentación tendrán controles de corriente y tensión.

La conexión entre bomba mecánica y difusora se cerrará automáticamente, en caso de detención de la primera.

En caso de que la presión en la cámara de vacío supere algunas décimas de micrón, deberá cerrarse automáticamente la conexión entre las bombas difusoras y la cámara de aceleración.

La apertura de la puerta de acceso al recinto o a cualquiera de las cuevas de medición provocará automáticamente el corte del generador de radio frecuencia.

El sistema de alarma y señalización, y el de iluminación de la salida de emergencia deberán poderse alimentar por baterías, que se conectarán automáticamente si se cortara la alimentación principal.

Estas baterías se recargarán automáticamente, para mantenerse en condiciones de trabajo.

Deberá haber un grupo generador de emergencia, que se pondrá en marcha automáticamente cuando se corte la alimentación principal, y se desconecte automáticamente cuando ésta se reconecte, por un período mayor de un (1) minuto.

Este grupo generador alimentará todos los sistemas de vacío, de refrigeración, alarmas, señalizaciones e iluminación general.

El grupo entrará en funcionamiento en un tiempo no mayor a 15 segundos de cortada la alimentación principal.

4. ESPECIFICACIONES DE LAS OBRAS CIVILES

4.1. NORMAS GENERALES.

Para el proyecto y la ejecución de la obra civil se tendrán en cuenta las reglamentaciones locales en vigencia. Para las construcciones de hormigón armado se adoptarán las normas DW. Para la recepción, control y aprobación de materiales se considerarán las normas locales, tomando como base las normas DIN.

Las especificaciones técnicas definitivas con los cálculos de medidas se entregarán para los trabajos completos, una vez terminados los pliegos de condiciones.

RECOMENDACIONES GENERALES.

El diseño del edificio del ciclotrón y de los laboratorios deberá ser realizado de tal manera que permita la expansión de sus facilidades. En particular, se deberá prever la instalación futura de una facilidad de tiempo de vuelo para neutrones y partículas cargadas, y mantener por lo tanto una extensión grande y plana en la dirección del haz de neutrones.

El espacio dentro del edificio debe ser tan específico como sea posible, de manera que, por ejemplo, se pueda transformar parte del área de talleres en área experimental o de desarrollo, o transformar área de los cuartos para el personal científico en laboratorios livianos.

Se deberá establecer un sistema de acceso para el mantenimiento de las líneas de poder, señales, comunicaciones, agua, etc.

Los túneles y accesos a áreas de mantenimiento del subsuelo deberán salir a puntos exteriores al edificio, de manera de permitir la entrada de materiales y equipos sin interferir con el trabajo dentro del edificio durante su construcción, y permitir una extensión fácil cuando se deba expandir la facilidad.

El sistema a seguir es el siguiente: la compañía que gana la licitación del ciclotrón isocrono hace la licitación para la construcción del edificio, supervisa además la obra.

Los plazos de construcción del edificio deberán ser planeados y cumplidos de manera tal que éste esté terminado antes del arribo de los principales componentes del acelerador. Deberá asegurarse que cuando lleguen estos componentes principales, se disponga del area de armado, con las grúas y energía eléctrica necesaria para el armado y pruebas de las diversas piezas.

4.3. UBICACION.

El ciclotrón isocrono se instalará en el Centro Atómico Ezeiza.

La cantidad de personas que trabajarán en el edificio se calcula en un total de 35 profesionales y 25 técnicos y auxiliares trabajando en forma permanente, más 15 a 20 de otros laboratorios.

ESPECIFICACIONES DE LAS DIVERSAS AREAS.

Se divide la instalación en las areas siguientes:

- 4.3.1. Recinto del ciclotrón isocrono
- 4.3.2. Area Experimental
- 4.3.3. Areas de Control y Medición
- 4.3.4. Talleres
- 4.3.5. Laboratorios y Oficinas
- 4.3.6. Areas de Apoyo Mecánico y Eléctrico
- 4.3.7. Area que rodea las instalaciones del Ciclotrón.

4.3.1. RECINTO DEL CICLOTRON ISOCRONO.

Se prevé un area del orden de 300 m^2 .

El edificio estará a nivel del suelo, y podrá tener subsuelos para las líneas de poder, agua, comunicaciones, mantenimiento, etc.

Dichos subsuelos, lo mismo que todos los otros de ésta facilidad, deberán tener una aislación especial para el agua subterránea, teniendo en cuenta que la primera napa de agua en Ezeiza está a 3 m. de profundidad. Por lo tanto todas las paredes exteriores de estos deberán estar hechas de concreto impermeable a la penetración del agua.

El edificio del ciclotrón deberá estar blindado de modo tal que responda a las normas de seguridad para las radiaciones, incluyendo la minimización del efecto de "Skyshine".

4.3.2. AREA EXPERIMENTAL.

Forma parte del edificio del ciclotrón, y se prevé un area del orden de 800 a 900 m².

Para facilitar el montaje de las diversas experiencias se requiere la máxima flexibilidad en su diseño, de modo que las subdivisiones en varias areas de medición se realizará en lo posible mediante bloques móviles de concreto. Deberá contar con una grúa de alta capacidad y velocidad, que pueda mover estos bloques de concreto, piezas pesadas de equipo y partes del ciclotrón. Esta grúa deberá cubrir además del area experimental el máximo posible del area del ciclotrón.

Se contempla la división del area experimental en un area para el espectrógrafo magnético y un area para usos múltiples, que podrá subdividirse mediante bloques móviles. Deberá tener también una salida para neutrones, para la eventual facilidad de tiempo de vuelo.

4.3.3. AREAS DE CONTROL Y MEDICION.

Deberá estar lo más cerca posible de las areas de ciclotrón y experimental. Es deseable la provisión de caminos amplios para las bandejas de cables, que serán de acceso fácil. Se dará preferencia al diseño de un cuarto de interconexión para todos los circuitos de control y medición, que esté inmediatamente encima o debajo del area principal de con-

trol, de tal manera que se puedan cambiar las conexiones de los diversos circuitos sin interrumpir las operaciones.

El area de medición debe estar situada de manera de poder ser ampliada en caso de necesidad. Inmediatamente contigua a la misma estará la sala de cómputo y análisis de datos.

4.3.4. AREA DE TALLERES.

Se requerirá un taller electromecánico grande cercano a las areas 1) y 2), un taller mecánico secundario, un taller electrónico, y un recinto de depósito de materiales eléctricos y mecánicos.

4.3.5. LABORATORIOS.

a) Se requieren los siguientes laboratorios:

Un laboratorio caliente para manipulación de radioisótopos;

Un laboratorio químico;

Un laboratorio destinado a la preparación de blancos y de detectores

b) Oficinas:

Los requerimientos son:

Una secretaría y recepción;

Una oficina para el director del Laboratorio;

Una oficina de ingeniería electromecánica para dos personas;

Una oficina de ingeniería electrónica para dos personas.

Una sala de seminarios y biblioteca.

Veinte cuartos para un personal estable de 30 físicos, y personal visitante de otros laboratorios que se estima en 15 profesionales.

4.3.6. AREAS DE APOYO MECANICO Y ELECTRICO.

Se definen como tales a los compartimentos donde se ubican sistemas auxiliares como ser:

Sistemas de refrigeración del ciclotrón.

Grupos generadores principales y de emergencia.

Cuarto de baterías para los sistemas de control y alarma.

Tanques para almacenar desechos radioactivos líquidos.

Sistema de aire acondicionado.

4.3.7. AREA QUE CIRCUNDA AL CICLOTRON.

Deberá contar con una zona de estacionamiento de vehículos.

En la dirección de salida del haz de neutrones para la facilidad de tiempo de vuelo, deberá haber un espacio libre para instalar un tubo de hasta 200m de longitud, en cuyo final se frenarán los neutrones.

5.- LISTA DE REPUESTOS.

La firma oferente entregará una lista detallada de los repuestos necesarios para el normal funcionamiento y mantenimiento del acelerador.

6. SUMINISTROS Y PRESTACIONES DE LA INDUSTRIA
ARGENTINA.

En todos los casos en que no se afecten al plazo de entrega, las garantías o los precios estipulados, la firma oferente deberá dar preferencia a los recursos humanos y materiales disponibles en la República Argentina.

7. GARANTIAS TECNICAS.

La firma adjudicataria garantizará la aptitud del diseño y la aptitud y calidad de los equipos y materiales, así como su buen funcionamiento, de acuerdo con las especificaciones técnicas.

8.

ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL.

La firma adjudicataria se comprometerá a recibir para su adiestramiento en sus fábricas, y en sus laboratorios, el personal técnico y científico que la Comisión Nacional de Energía Atómica designe de común acuerdo con la firma.

La firma se obligará además a adiestrar en el manejo de las instalaciones del ciclotrón isocrono al personal de CNEA que se destine a su servicio, sin cargos y hasta la fecha de su recepción, de acuerdo a un programa de entrenamiento que se elaborará de común acuerdo.

9.

INFORMACION, INSPECCION Y ENSAYOS.

La firma adjudicataria informará mensualmente a CNEA por escrito sobre el progreso de los trabajos.

CNEA. tendrá derecho a informarse en todo momento sobre el estado de los trabajos e inspeccionarlos. A tal efecto, tendrá libre acceso a los planos y a la documentación que requiera, a la obra en construcción y a las plantas de fabricación de equipos y componentes. La firma adjudicataria se obligará a obtener la correspondiente autorización de sus subcontratistas cuando CNEA desee ejercitar este derecho en instalaciones de éstos.

La firma adjudicataria deberá notificar a CNEA la realización de los ensayos de recepción de los componentes antes de su embarque, y deberá permitir que los mismos sean presenciados por CNEA.

La firma entregará a CNEA copias de los datos obtenidos en los ensayos.

A efectos de realizar sus pruebas de control e inspección, CNEA podrá utilizar, previo acuerdo, los laboratorios e instrumentos de la adjudicataria.

10.

PUESTA EN MARCHA.

La puesta en marcha tendrá por objeto verificar el normal funcionamiento de los componentes de la instalación y se llevará a cabo bajo la dirección y responsabilidad de la firma adjudicataria, inmediatamente después de terminado el montaje. CNEA pondrá a disposición de la firma adjudicataria a su debido tiempo el personal de operación y de mantenimiento necesario con capacidad adecuada a la función.

MARCHA DE PRUEBA.

La marcha de prueba servirá para demostrar que los equipos suministrados son aptos para el funcionamiento normal del acelerador y sus instalaciones complementarias. Será realizada bajo la dirección y responsabilidad de la firma adjudicataria, debiendo CNEA proveer el personal necesario. Se realizará a continuación de la puesta en marcha, y se desarrollará en base a un programa elaborado de común acuerdo entre las partes.

RECEPCION.

Con la terminación de la marcha de prueba se realizará la recepción del ciclotrón isocrono por parte de CNEA, siempre que:

La firma adjudicataria haya efectuado los suministros y prestaciones necesarias para el servicio correcto del acelerador, y se hayan eliminado las fallas o imperfecciones que se hubiesen presentado durante la marcha de prueba.

11.

OBSERVACION DE MEDIDAS DE SEGURIDAD.

En el ejercicio de sus tareas en la Argentina con relación a la ejecución de este contrato, la firma adjudicataria se obligará a observar todas las leyes y reglamentaciones laborales argentinas tanto para su personal procedente del exterior como para el residente en el país.

Igualmente respetará las correspondientes medidas de protección contra accidentes de trabajo prescriptas por las leyes y reglamentos vigentes, y las normas técnicas generalmente reconocidas para garantizar la seguridad de los trabajos a su cargo.

INFORME DE SEGURIDAD.

La firma adjudicataria preparará y entregará a CNEA, de acuerdo con el programa de trabajo, la documentación necesaria para la obtención de las aprobaciones de construcción y funcionamiento. Esta documentación deberá ser conformada por CNEA.

El informe de seguridad será preparado por la firma, teniendo en cuenta las indicaciones que a tal efecto reciba de CNEA. Se dividirá en dos partes: la primera para la obtención del permiso de construcción y llevará la referencia de informe de seguridad provisional; la segunda para la obtención del permiso de funcionamiento y llevará la referencia de informe de seguridad definitivo.

Conclusiones

CONCLUSIONES.

En base a lo detallado en los capítulos y apéndices anteriores se pueden resumir las siguientes conclusiones:

- 1) El Laboratorio del Sincrociclotrón ha sido el más importante centro de investigación en física nuclear en América Latina, como puede verse en los Capítulos I y II. Su producción de trabajos científicos y formación de personal están detallados en el Apéndice A.
- 2) Es urgente el reequipamiento del Laboratorio, por cuanto el Sincrociclotrón de que dispone no puede competir con los nuevos aceleradores: máquinas como el Acelerador Tandem instalado en Sao Paulo, Brasil y que se inaugurará en 1971, tienen características muy superiores.
- 3) De no realizarse éste reequipamiento, el Laboratorio verá dispersarse a sus miembros.
- 4) En el Capítulo IV se hace un estudio de selección de un nuevo acelerador que haga que Argentina esté a la cabeza de América Latina en materia de Física Nuclear. Se llega a la conclusión de que el más adecuado es un ciclotrón isocrono de energía variable de 10 a 130 MeV.
- 5) En base al Capítulo VIII, donde se hace un estudio económico del proyecto, puede verse que:
 - a) El personal científico y técnico necesario para el funcionamiento y la utilización del ciclotrón isocrono es el ya existente en el Departamento de Física Nuclear de la CNEA; por lo tanto la instalación del nuevo acelerador no requiere la creación de un plantel de personal nuevo en la Institución.

- b) Una vez puesto en funcionamiento el ciclotrón isócrono, el Departamento de Física Nuclear requerirá un aumento en su presupuesto de solamente un 50% por encima del nivel del año 1970.
- 6) En el Apéndice B se estudió la selección de la ubicación del nuevo ciclotrón, llegándose a la conclusión de que el lugar más adecuado es el Centro Atómico Ezeiza, por cuanto podrá ser utilizado así extensivamente por los investigadores de la Gerencia de Investigaciones y demás dependencias de la Comisión Nacional de Energía Atómica, así como también otras instituciones radicadas en Buenos Aires, La Plata y Rosario.