

EL LABORATORIO DEL AMPLIFICADOR DE ENERGÍA: CARACTERÍSTICAS Y DESARROLLOS PREVISTOS (*)

J. A. RUBIO

Se resumen las características del Sistema conocido como Amplificador de Energía (AE), particularmente las que le permiten incinerar los residuos nucleares de larga vida y producir energía en muy elevadas condiciones de "limpieza" y seguridad intrínseca. Comprobadas experimentalmente sus ideas básicas, se describen los parámetros de una posible Instalación de Demostración, haciendo referencia al anteproyecto que el Consorcio Internacional LAESA (Laboratorio del Amplificador de Energía S.A.) está elaborando. Finalmente se menciona el programa español de I&D que está dedicado a la optimización de las tecnologías involucradas.

CONSIDERACIONES GENERALES

El concepto de Amplificador de Energía (AE) desarrollado por C. Rubbia y colaboradores [1] es un Sistema Subcrítico Asistido por Acelerador (ADS), en el que el combustible idóneo tiene base de torio y el blanco de espalación, medio difusor de neutrones y refrigerante es metal líquido (plomo o plomo-bismuto). El acelerador óptimo es de protones con energía ≥ 1 GeV, intensidad ≈ 10 mA y eficiencia energética $\geq 50\%$.

LAESA es un Consorcio Industrial, creado en Marzo de 1997, para desarrollar el concepto del AE y posteriormente fabricar y comercializar unidades con el objeto de eliminar residuos nucleares de larga vida y, si se demuestra rentable, generar energía nuclear de fisión en condiciones muy elevadas de seguridad intrínseca y limpieza. LAESA tiene los derechos de patente del AE en exclusiva y sus socios fundadores incluyen 38 empresas y 71 individuos, franceses, italianos y españoles.

Las principales características del concepto de AE son las siguientes:

1) es un sistema pasivo en el que el control, excepto la parada de emergencia, se lleva a cabo con el acelerador, sin que haya otros elementos variables,

2) sus principios básicos de funcionamiento, tanto en la generación de energía como en la eliminación de residuos,

han sido comprobados en dos experimentos realizados en el CERN, llamados FEAT (First Energy Amplifier Test) [2] y TARC (Transmutation by Adiabatic Resonance Crossing) [3],

3) la utilización de plomo líquido (o eutéctico plomo-bismuto) permite:

(a) un alto rendimiento neutrónico de espalación, (b) un espectro neutrónico rápido y consecuentemente una alta probabilidad de fisión de casi todos los actínidos, (c) una eficaz transmutación de los fragmentos de fisión de larga vida en isótopos estables utilizando el método conocido como Cruce Adiabático de Resonancias (ARC) y, (d) la oportunidad de extraer el calor por convección natural que, junto con un apropiado nivel de subcriticidad y otras características, confieren al Sistema un altísimo nivel de seguridad intrínseca,

4) utiliza el torio como combustible de base, lo que proporciona: (a) un uso eficiente de un material abundante y ampliamente distribuido, (b) la oportunidad de alcanzar grados de quemado muy altos, operando con un valor de criticidad prácticamente constante y, (c) una mínima contribución del torio al "stock" final de transuránicos (TRUs) en ciclo abierto,

5) en ciclo cerrado los actínidos son "semillas" para la nueva recarga (con torio adicional y ^{233}U /TRUs), la operación es similar para todos los ciclos, no se requiere una separación de los actínidos durante

el proceso de reelaboración y permite una contaminación de fragmentos de fisión dado que el espectro neutrónico es duro. Para la reelaboración, el método mas adecuado es el piroelectrolítico.

La radiotoxicidad final de los residuos es sólo debida a los fragmentos de fisión no eliminados y a las pérdidas de actínidos durante la reelaboración. Después de unos pocos cientos de años puede ser comparable a los de la hipotética Fusión Nuclear y similar a la del torio inicial,

6) dispone de barreras antiproliferación porque: (a) dado el alto grado de quemado alcanzable puede operar sellado, típicamente 5 años, lo que permite la recarga bajo inspección internacional, (b) todos los transuránicos están mezclados y, (c) el ^{233}U esta desnaturalizado por la actividad y procedente de la cadena de desintegración del ^{238}U ,

7) el sistema acelerador idóneo, un conjunto de ciclotrones, es compacto y de bajo coste ($\approx 20\%$ del coste directo de la instalación).

LAESA está interesada en construir una facilidad de Demostración como paso intermedio para una posterior comercialización de AAEE. Un posible programa, en casos como el español, consiste en la utilización de una unidad de AE (≈ 800 MW) para incinerar los residuos de larga vida producidos por una Central Nuclear convencional de 1 GWe, situada en su mismo emplazamiento.

(*) Trabajo parcialmente financiado por el programa Cátedra de la Fundación BBV.

La importancia comercial del Sistema es elevada porque permite una mejor gestión de los residuos, en particular los de larga vida, disminuyendo drásticamente su "stock" y recuperando la energía acumulada en los mismos (p. e., para España significaría del orden del 8 % del consumo primario de energía, al ritmo actual, durante aproximadamente 40 años)

LAESA está interesada en promover el uso de la instalación de Demostración como Laboratorio con un amplio campo de aplicaciones, así como en banco de pruebas para desarrollos posteriores del AE.

LA INSTALACIÓN DE DEMOSTRACIÓN: UN POSIBLE PROGRAMA

Comprobados los principios básicos del AE la instalación de demostración debe tener una potencia que permita un equilibrio entre el mínimo necesario para probar las tecnologías involucradas y el máximo adecuado por razones de licenciamiento, coste, etc.

La instalación inicialmente prevista por LAESA tiene tres principales componentes [4]:

1) el acelerador (energía cinética=400 MeV, intensidad máxima ≈15 mA y eficiencia energética ≈ 50%). La solución preferida es un ciclotrón de 6 sectores separados, alimentado por un acelerador lineal que alcance una energía cinética del haz de ≈ 25 MeV.

2) el blanco, hecho de metal fundido (plomo o plomo-bismuto). La configuración final está en estudio.

3) el tanque o isla nuclear, que debe eventualmente disipar hasta 250 MW (de 1 a 100 MW iniciales) mediante convección natural. El tanque estará lleno, bien de plomo a temperaturas de 400-500 °C o de eutéctico plomo-bismuto a temperaturas convencionales 300-350 °C.

Una vista esquemática de la instalación aparece en la Figura I y una lista de los previsibles parámetros se muestra en la Tabla I. Conviene indicar que los valores son nominales pero que el proceso de

CARACTERÍSTICAS GENERALES	Potencia (térmica)	1- 100- 250 MW
	Criticidad (k)	< 0,98
	Ganancia energética máxima	60
	Altura	10 m
VASIJA	Diámetro	6 m
	Espesor	4,0 cm
	Configuración	Hexagonal
	Número de elementos combustibles (e. c.)	120 (3° a 7° vueltas)
NÚCLEO	Número de barras por e. c.	169 (7 vueltas)
	Combustible final	(Th- ²³³ U/TRUs)O ₂
	Densidad energética media	250 W/cm ³
BARRAS	Diámetro exterior	8,2 mm
	Longitud activa	120 cm
	Configuración	Linac + Cyclotron
	Rendimiento	≥ 50 %
ACELERADOR	Energía	380 MeV
	Intensidad máxima	15 mA
	Potencia Nominal del haz	4,75 MW
	Material	Pb o eu. (Pb-Bi) fundido
SISTEMA PRIMARIO DE REFRIGERACIÓN	Bombeo	Convección natural
	Altura de convección	6 m
	Intercambiadores de calor	4 X 62,5 MW
	Temperatura de entrada al núcleo	400 (250) °C
	idem. de salida	500 (350) °C

Tabla I: Parámetros del diseño conceptual de la instalación de Demostración del AE.

puesta en marcha de la instalación habrá de ser gradual, tanto en los parámetros del haz como en aquellos que definen el conjunto subcrítico, particularmente la cantidad y tipo de combustible a utilizar.

ANTEPROYECTO DE INGENIERÍA: SITUACIÓN ACTUAL

En base a los parámetros antes citados se está desarrollando un anteproyecto preliminar de ingeniería, llevado a cabo por empresas o entidades accionistas de LAESA: ABENGOA, CIEMAT, INGESGRUP, NOVOTEC, TAIM, TECHNICATOM, etc, en el que se espera participen otras compañías.

En particular, se ha preparado una definición del emplazamiento y obra civil, de la vasija y mecanismos de manipulación

del combustible así como del ciclotrón principal del sistema acelerador. La Figura II y la Figura III muestran una vista general del laboratorio y un esquema del ciclotrón, cuyos parámetros aparecen en la Tabla II.

Conviene citar algunos aspectos del anteproyecto. Por ejemplo, el área de experimentación prevista para aplicaciones distintas del AE, la existencia de mecanismos para la gestión del combustible y la especial estructura del ciclotrón, en concreto las líneas de inyección y extracción del haz, claves para conseguir la intensidad nominal.

PROGRAMA DE I&D BASE DE LAS ACTIVIDADES DE LAESA

Un sistema novedoso como el AE requiere un amplio programa de I&D que resuelva, optimizándolos, los interrogantes tecnológicos que plantea su construcción a nivel de Demostrador. En éste sentido se han iniciado ya actividades cuyas características son: (1) coordinación por parte de LAESA, aunque cada proyecto esté dirigido por una institución accionista de la Compañía, (2) versatilidad para integrarse en un programa más amplio, particularmente europeo, (3) financiación compartida (≈ 50%/50%) por instituciones accionistas y agencias públicas de I&D, (4) las colaboraciones con departamentos universitarios y otras organizaciones son establecidas por las instituciones

PARÁMETRO	
Energía de inyección	20 MeV
Energía de extracción	380 MeV
Intensidad del haz de protones	10-15 mA
Frecuencia RF	70,4 MHz
Armónico	10
Diámetro externo	12 m
Tipo de cavidad	Delta, 2 pasos
Potencia total requerida por el acelerador	≈10 MW

Tabla II: Parámetros generales del ciclotrón

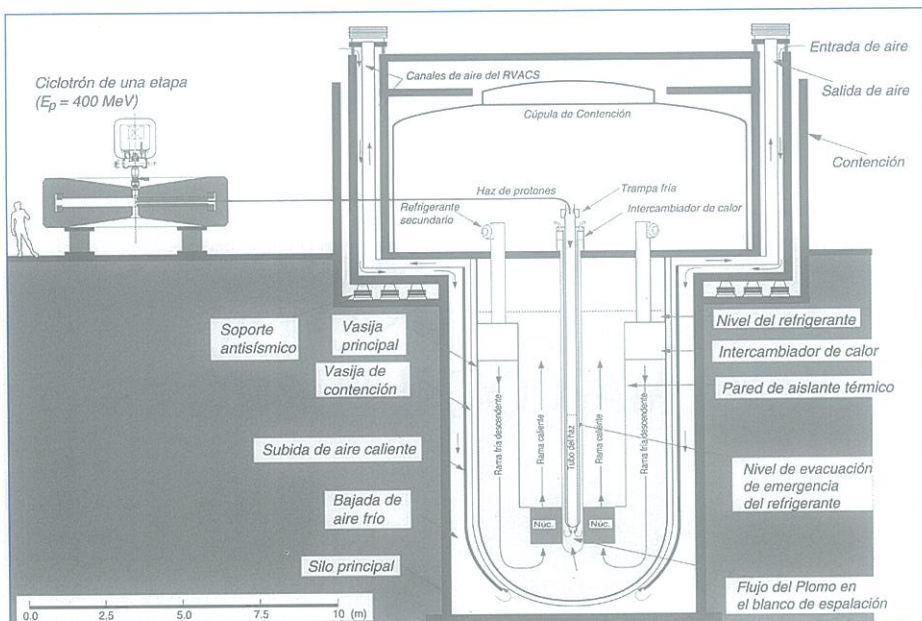


Figura I. Esquema simplificado del Amplificador de Energía

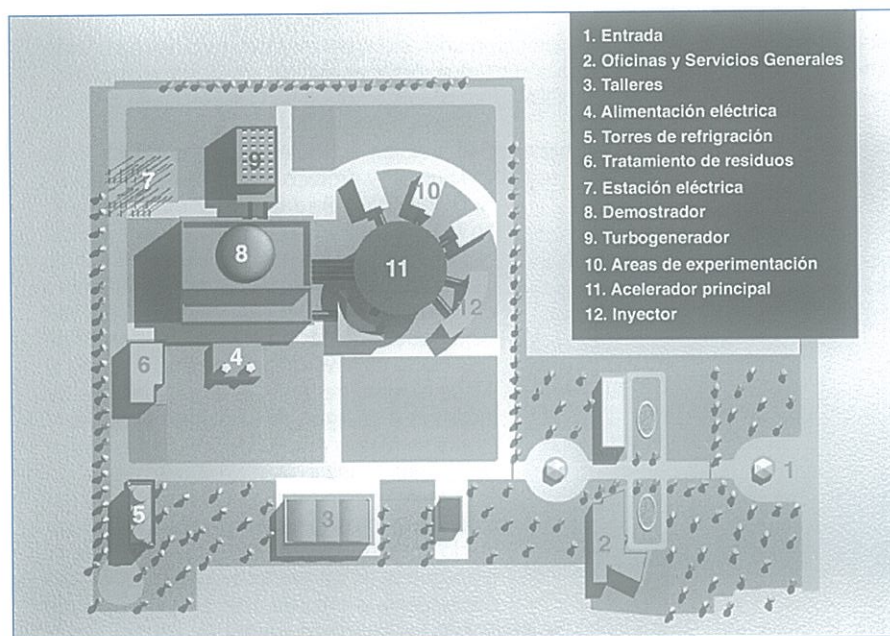


Figura II : Vista General del Laboratorio del Amplificador de Energía

responsables de los proyectos y, (5) en paralelo, está en marcha un programa de formación de jóvenes titulados.

Los tópicos de los proyectos de I&D son: (1) simulación y experimentación básica, (2) instrumentación y control, (3) tecnologías de aceleradores, (4) utilización de metales líquidos para extracción de calor por convección natural, (5) métodos de reelaboración, (6) desarrollo de combustibles con base de torio, (7) impacto ambiental, (8) fuentes de espalación de neutrones, (9) seguridad y, (10) desarrollo de las aplicaciones del acelerador del AE. Procede indicar que en 1997 se dedicaron del orden de 150 Mpts al I&D referido, cifra que se piensa aumentará en un factor 4 durante 1998.

CONCLUSIONES

a) Se estima que el AE es el sistema asistido por acelerador mas adecuado para, por orden de prioridad: (1) eliminar residuos nucleares de larga vida y, (2) producir energía en altas condiciones de seguridad y limpieza.

b) LAESA, plataforma industrial internacional creada para construir una Instalación de Demostración de AE, ha comenzado la elaboración de un proyecto y espera la participación de otras compañías o instituciones.

c) LAESA y sus accionistas españoles están promoviendo un programa de I&D, listo para integrarse en un mas amplio esfuerzo internacional, particularmente europeo.

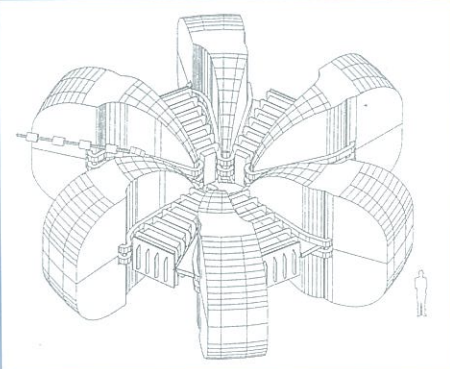


Figura III : Vista esquemática del Ciclotrón.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a C. Rubbia, los componentes del grupo EET del CERN y los miembros de la plantilla de LAESA por la información aportada, así como la importante ayuda de J. Gálvez en la preparación del artículo.

REFERENCIAS

- [1] C. Rubbia, J. A. Rubio et al., "Conceptual design of fast neutron operated high power Energy Amplifier", CERN/AT/95-44 (ET) y referencias en él incluidas. C. Rubbia, S. Buono, E. González, Y. Kadi and J. A. Rubio, "A realistic plutonium elimination scheme with fast Energy Amplifiers and thorium-plutonium fuel", CERN/AT/95-53 (ET).
- [2] S. Andriamonje et al., "Experimental determination of the energy generated in nuclear cascades by a high energy beam", Physics Letters B 348 (1995) 697.
- J. Calero et al., "Experimental temperature measurements for the Energy Amplifier tests", NIM A 376 (1996) 89-103.
- [3] S. Andriamonje et al., "Experimental study of the phenomenology of spallation neutrons in a large Lead block", propuesta al SPSLC, SPSLC/P291, 1995.
- [4] M. A. Hidalgo, R. Nuñez-Lagos, C. Rubbia, J. A. Rubio and G. Viani, "Programa preliminar para la industrialización del Amplificador de Energía", Nota interna de LAESA (1966).



Juan Antonio RUBIO es Doctor en Ciencias Físicas. En la JEN ha sido Jefe de la División de Física Nuclear y Subnuclear, Director de Investigación Básica y Director Científico. Desde 1987, en el CERN, ha sido Jefe de Grupo y Asesor Científico del Director General. Autor de doscientas cincuenta publicaciones científicas y treinta de divulgación. Es coordinador del CERN para Iberoamérica, Prof. Honorario de la Universidad "San Antonio Abad" de Cuzco y Miembro Honorario del Colegio Oficial de Físicos de España. Actualmente es investigador del CERN en servicios especiales del CIEMAT y asesor de LAESA.