

El sincrotrón Alba



The Alba synchrotron

Pascual Bolufer-Mayans
Instituto Químico de Sarrià

Recibido: 07/01/09 • Aceptado: 20/04/09

ABSTRACT

- ALBA is a giant microscope, that will be formally open in 2010, Cerdanyola del Vallés, Barcelona. It has a cost of 201 millions of Euros and it belongs to the third generation of synchrotrons. Thermal stability is guaranteed by not going beyond 0.5°C. The light is produced by intensive electrons up to ultra relative speeds. ALBA will be able to get more than 30 independent light lines for experimentation. Each line characteristic is defined by different variables; font's nature (a bending magnet) and the optic (focus, chromatism, energetic level). ALBA's light is polarized by different states: lineal polarization horizontal or vertical type, circular and intermediate geometric. The generated light will allow precise observations upon atomic and molecular structures. It will also improve pure and applied science in the molecular biology branch (protein and virus structure).
- **Key words:** synchrotron light, wiggler, undulators, mono-chromaticity.

RESUMEN

Es un microscopio gigante, que se inaugurará en 2010, en **Cerdanyola del Vallés**, Barcelona. El coste es de 201 millones de euros y pertenece a la 3ª generación de sincrotrones.

La estabilidad térmica está garantizada, con variaciones que no superarán 0.5 °C.

La luz es producida por electrones acelerados hasta altísimas velocidades.

ALBA podrá acoger más de 30 líneas de luz independientes para experimentación. Las características de cada línea vienen determinadas, tanto por la naturaleza de la fuente (un imán de curvatura) como por la óptica (focalización, mono-cromaticidad, nivel energético). La luz de ALBA está polarizada, según diversos estados: polarización lineal de tipo horizontal o vertical, circular y geometrías intermedias.

Se podrá observar con precisión moléculas y conocer los pormenores internos con gran resolución.

Alba es una fuente de luz de sincrotrón, que pertenece a la 3ª generación de sincrotrones y cuyo

objetivo es descubrir los secretos de la materia. Está previsto que cada año dé servicio a más de 1 000 investigadores y a empresas privadas de alta tecnología de España. La Luz Sincrotrón (LS) servirá tanto a la ciencia pura como a la aplicada.

En Europa hay cerca de 20 fuentes de luz sincrotrón. El Alba español está gestionado por CELLS, cofinanciado por la *Generalitat de Catalunya* y el *Ministerio de Ciencia y Tecnología*.

Las instalaciones de Alba ocupan 26.000 m² y ocupan un edificio principal en forma de caracol de 140 m de diámetro que incluye laboratorios y oficinas.

Palabras clave: Luz sincrotrón, wiggler, onduladores, mono-cromaticidad

1.- INTRODUCCIÓN

La zona es algo sísmica, debido a los volcanes extinguidos de **Olot**, Gerona. Ello ha obligado a construir el Alba encima de un bloque inmenso de 3 m de espesor, formado por grava y

cemento para lograr la estabilidad. De esta forma se evitan vibraciones y movimientos del subsuelo.

La estabilidad térmica está garantizada ya que no existen variaciones que superaren los 0.5 °C.

No es posible tolerar cortes del suministro eléctrico, ni huecos de tensión, por lo cual dispondrá de un doble servicio de alimentación ininterrumpida, para quedar al margen de las alteraciones de Red Eléctrica Española.

El anillo de Alba podrá acoger más de 30 líneas de luz independientes para experimentación. En la 1ª fase se construyen 7.

2.- LA LUZ SINCROTRÓN

La luz generada por el sincrotrón permite observar con precisión estructuras tan pequeñas como las moléculas y conocer los pormenores internos con gran resolución. Es luz producida por partículas cargadas (electrones), aceleradas hasta altísimas velocidades, forzadas a seguir una trayectoria curva y por tanto a emitir.

Los electrones se mantienen durante horas formando paquetes que viajan a una velocidad extremadamente cercana a la de la luz con energías de 3GeV en un anillo de almacenamiento.

La luz sincrotrón (LS) se produce en los puntos del anillo en los que un campo magnético curva la trayectoria de los electrones. En esos puntos, llamados líneas de luz, se realizan diversos experimentos simultáneos.

Las características de cada línea de luz vienen determinadas tanto por la naturaleza de la fuente (imán de curvatura o dispositivo de inserción), como por la óptica (focalización, colimación, monocromaticidad, resolución en energía,...).

Para el equipo de experimentación que accede a la línea de luz, el anillo de almacenamiento Alba es casi inexistente. Tan solo el haz de luz que incide sobre la muestra es testigo de la realidad del anillo.

El utillaje experimental de cada línea depende del tipo de investigación (absorción, dispersión, difracción, microscopía, resonancias electrónicas o moleculares...).

Es una luz muy brillante, mucho más que cualquier otra fuente de luz de laboratorio. Además, está colimada: es un haz finísimo de muy baja dispersión angular.

Los sincrotrones producen una fuente de luz blanca, compuesta de todos los colores, es decir, energías desde el infrarrojo hasta el ultravioleta y los rayos X. Las longitudes de onda del sincrotrón varían desde décimas de ángstrom (en el límite superior de la máquina) hasta las micras.

El experimentador ha de escoger el nivel de energía que requiere su investigación.

Alba tiene un límite superior de energías. Para superar ese límite el 8 de enero 2009 comenzará la construcción en Hamburgo del XFEL Europeo, de 900 millones de euros, costado en parte por España. Allí habrán de ir los

investigadores que necesitan una gama muy alta de energías, es decir, longitudes de onda muy cortas.

La LS de Alba está polarizada, pudiéndose seleccionar cualquier estado de polarización: lineal (horizontal o vertical) circular o cualquier estado intermedio.

Como ya hemos indicado, los electrones en el anillo se agrupan en paquetes de modo que la LS se produce de modo estroboscópico: consta de pulsos de decenas de picosegundos de duración con una cadencia de cientos de nanosegundos, lo que permite realizar experimentos con resolución temporal ultrarrápida.

3.- LA ACELERACIÓN DE ELECTRONES

Partimos del principio de **James Clerk Maxwell** (1831-1879), que indica que toda carga eléctrica acelerada emite luz y la afirmación de **Hendrik Antoon Lorentz** (1853-1928): Una carga q con velocidad v , bajo la acción de un campo magnético B , experimenta una fuerza F : $F=q(vB)$.

El Gráfico 1 representa al sincrotrón francés "Soleil", instalado en **Saclay**, París. El Alba de **Cerdanyola** sigue el mismo esquema: El *Linac*, *Booster* y Anillo de almacenaje.

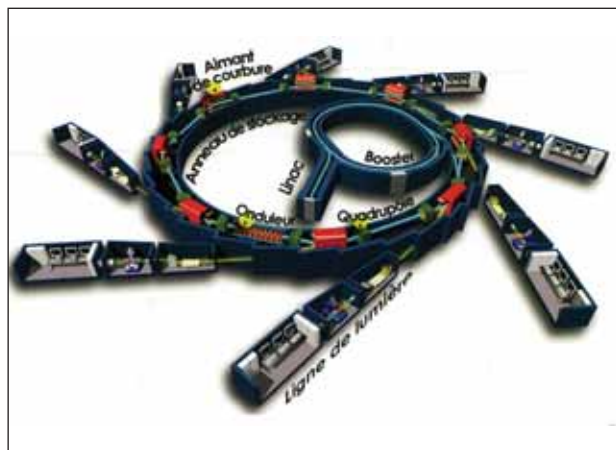


Gráfico 1- Los 3 componentes de ALBA: Linac, Booster(anillo pequeño central), Anillo de almacenamiento(anillo de 140 m de diámetro).

Alba dispone de un acelerador lineal (*Linac* en el gráfico), el *Booster* (sincrotrón) y el gran anillo de almacenamiento (*Anneau de stockage*) más 7 líneas de luz (*Ligne de lumière*).

En el gráfico leemos "Aimant de courbure", el imán de curvatura que obliga al electrón a emitir la luz sincrotrón, tangente a la trayectoria.

En el Alba, el acelerador de electrones lineal (*Linac*), impulsa al electrón hasta una energía de 100 millones de electrón-voltios (100 MeV) que trabaja a una frecuencia de 3GHz, con una cadencia de 3Hz.

La luz generada por el sincrotrón permite observar con precisión estructuras tan pequeñas como las moléculas y conocer los pormenores internos con gran resolución.

A continuación pasa el electrón al sincrotrón (*Booster*) circular, que eleva la energía hasta el nivel final: 3 millares de millones de eV (3GeV), un valor que corresponde a la una velocidad muy cercana a la de la luz. Aquí los campos magnéticos están sincronizados con la velocidad progresivamente creciente del electrón y el radio se mantiene constante.

La potencia W radiada por el electrón en cada vuelta se expresa en función de su energía (E), el radio de curvatura(r) y el campo magnético del imán de curvatura (B).

$$W(\text{KeV/vuelta}) = 8.885 E^4 (\text{GeV})/r(\text{m}) = 26.5 E^3 (\text{GeV}).B(\text{Tesla})$$

Ambas fórmulas nos indican que para lograr una LS de gran intensidad conviene que la energía sea grande y el radio de curvatura pequeño.

El ángulo de abertura del haz de luz de Alba en radianes es de $0,51/E(\text{MeV})$. Para un nivel energético de 3 GeV, la abertura será del mili-radián.

A continuación se encuentra el anillo de almacenamiento del electrón de 140 m de diámetro. Sus células disponen de cuadrupolos, dipolos y sextupolos. El anillo es de acero inoxidable y muy alto vacío, del orden de 10^{-10} milibares.

De lo contrario los electrones colisionarían con moléculas de gas residual.

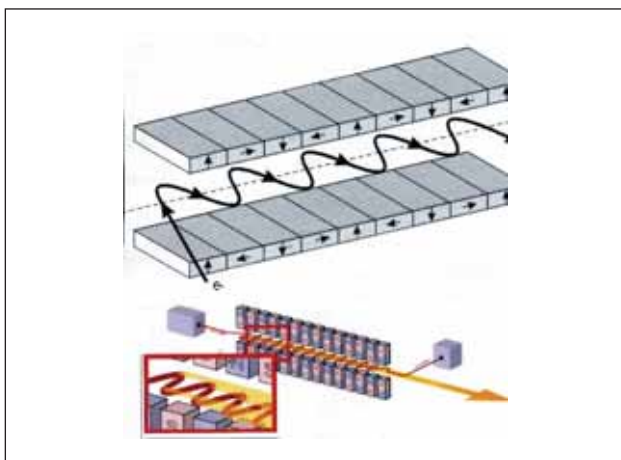


Gráfico 2 - El wiggler está formado por una hilera de imanes de polaridad alternada, para lograr que los electrones avancen serpenteantes, estilo culebra.



El Linac de Alba acelerará los electrones hasta 100 MeV.

Para que los paquetes de electrones no se dispersen, dispone el anillo de un conjunto de imanes cuadrupolares y sextupolares que los concentran.

Entre los dipolos del anillo los paquetes de electrones se mueven en línea recta, pero en Alba, en el tramo recto se insertan sistemas magnéticos, llamados "dispositivos de inserción". Estos obligan a los electrones a describir trayectorias sinusoidales y que por tanto, emiten la LS, son los *wigglers* y los onduladores.

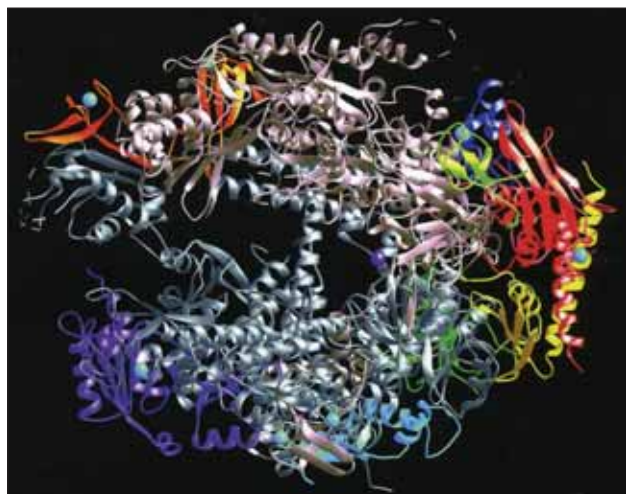
Los *wigglers* generan una radiación coherente amplificada.

Los onduladores emiten rayos X de longitud de onda muy corta.

En el *Linac* y en el *Booster* el suministro de energía se logra con cavidades de radiofrecuencia. En el anillo, a medida que los electrones pierden energía, las cavidades de radiofrecuencia reponen la energía perdida, de modo que el nivel energético del electrón se mantiene constante.

El conjunto de aceleradores está rodeado de un muro de hormigón para evitar la salida de la radiación hacia el exterior.

La LS producida en los imanes de curvatura y en los *wigglers* y onduladores sale por ciertos orificios y se dirige



Magnífica imagen de la proteína polimerasa, llamada RNA. Contiene más de 30 000 átomos. Estructura obtenida usando haces difractados de rayos X, con el sincrotrón SLAC de Stanford, California.

a las salas de experimentación o líneas de luz. Allí la LS incide sobre la muestra en estudio.

4.- EL SUMINISTRO DE POTENCIA

Una planta de cogeneración, especialmente diseñada, aporta 12 MW que suministra frío y calor y garantiza la estabilidad y seguridad del servicio. En las salas de temperatura controlada la variación será inferior a 0.5 °C.

300 electroimanes de diferentes tipos son refrigerados con agua des-ionizada.

5.- APLICACIONES

La luz sincrotrón será de utilidad tanto para la ciencia pura como para la aplicada. Por ejemplo:

- La biología molecular estructural, para la determinación de las estructuras de proteínas y virus, para el diseño de nuevos fármacos.
- Las ciencias ambientales, para la determinación de la estructura química de los contaminantes del suelo y del agua, indispensable para lograr su separación.
- Las ciencias de los materiales, para la determinación de sus propiedades estructurales y electrónicas en un amplio abanico de catalizadores, polímeros y semiconductores.
- En terapia médica con rayos X, para minimizar el daño a las células sanas al irradiar el cáncer.

Las técnicas experimentales más usadas serán: difracción de material no cristalino, cristalografía de macromoléculas, espectroscopia y microscopía de fotoemisión, espectroscopia de absorción de rayos X, difracción de polvo de alta resolución, microscopía de rayos X y dicroísmo circular magnético de rayos X.

Esperamos que la Asociación de Usuarios de Sincrotrón de España usará Alba con los mismos éxitos que ha logrado el sincrotrón europeo de Grenoble.

Las características de cada línea de luz vienen determinadas tanto por la naturaleza de la fuente (imán de curvatura o dispositivo de inserción), como por la óptica (focalización, colimación, monocromaticidad, resolución en energía, ...)

6.- BIBLIOGRAFÍA

- Folkers Petra. Bauvorbereitung des European XFEL.DESY.Hamburg.2008. 2007.
- Ganier Aude.Synchrotron-Plein Soleil sur la matière.Les Défis du cea.Paris.Mars 2007.
- Jackson Judy. Springtime at Daresbury Light Source.Symmetry.May 2005.
- Pascual Ramón. ALBA:a synchrotron Light source for Spain.CERN Courier,November 2008.
- Pascual Ramon. La font de llum de sincrotró ALBA.CELLS.2008.
- Plummer Brad. From atom smashers to X-ray movies.Symmetry,april 2008.