

# **Una Fuente de Neutrones de Espalación en Vizcaya**

A finales de 2001 la Diputación Foral de Vizcaya encargó a un grupo de Catedráticos de la Universidad del País Vasco junto con la Ingeniería SENER un estudio sobre la posibilidad de construir una gran instalación científica en Vizcaya.

El estudio consideró los siguientes aspectos:

1. El interés de albergar una instalación de las denominadas de Gran Ciencia
2. El tipo de instalación a considerar
3. El concepto técnico de la instalación
4. El impacto de la instalación
5. Requisitos del emplazamiento

Este estudio fue entregado en el verano de 2002

Un segundo estudio fue encargado al mismo grupo, esta vez para desarrollar un diseño a nivel pre-conceptual.

Los objetivos del estudio fueron los siguientes:

1. Definición más precisa de los sistemas principales.
2. Estimación de los costos de construcción y operación así como de los posibles retornos.
3. Análisis de la capacidad de las empresas españolas para:
  - Tomar parte en el diseño, construcción y operación
  - Emplear técnicas neutrónicas
4. Facilitar a la Administración la información necesaria para tomar una decisión.

## Participantes y Consultores:

- Dr. Javier Bermejo, CSIC
- SENER, Departamento de Energía y Procesos
- Departamento de Tecnología FZJülich
- IK-4 Research Alliance (Ceit, Cidetec, Gaiker, Ikerlan, Tekniker y Vicom)
- CDTI
- Drs. Pedro Bilbao y Juan Martín, Jefes de los Servicios de Radioterapia de los Hospitales de Cruces y Basurto respectivamente.
- Dr. Ángel Ibarra, CIEMAT.

Usos de la instalación:

Tras haber explorado las necesidades de los usuarios se concluyó que la instalación debiera facilitar el acceso a:

- Técnicas de dispersión neutrónica
- Investigación sobre efectos de la radiación sobre los materiales
- Producción de isótopos para usos médicos e industriales
- Tratamiento de cáncer con protones y neutrones
- Aplicaciones industriales de protones y neutrones

## Beneficios derivados

- Desarrollo de capacidades de alta tecnología que posibiliten la participación en proyectos internacionales avanzados
- Mejora de capacidades para formación y educación en áreas científicas y tecnológicas
- Atraer el establecimiento de empresas de alta tecnología
- Oportunidades para el desarrollo de empresas ya existentes

## Diseño

### Objetivos:

- Competitividad internacional
- Utilización múltiple y flexible
- Posibilidad de ampliación de prestaciones
- Uso eficiente del terreno
- Tecnología de instrumentos asequible
- Inversión inicial ~ 300 M€

### Requisitos:

- Energía variable de extracción de protones
- Minimización de la necesidad de de infraestructura de soporte, principalmente celdas calientes
- Utilización de un acelerador de paso múltiple (RCS)
- Minimización del coste del inyector (LINAC)

## Parámetros principales:

- Las aplicaciones terapéuticas requieren energías de protón variables entre 70 y 250 MeV
- Una potencia de haz de 250 kW es suficiente para asegurar la competitividad en aplicaciones de dispersión de neutrones
- Para conseguir esta potencia se fijó una corriente en el blanco fácilmente alcanzable de 125  $\mu\text{A}$  (promedio temporal) con una frecuencia de repetición de pulsos de 50 Hz y un factor de carga en la inyección del 2%.
- La energía asociada a esa corriente es de 2 GeV. Esto requiere, en un RCS, una energía de inyección  $> 50$  MeV



Modos de operación:

El sincrotrón será capaz de operar en dos modos:

1. Fuente de neutrones de espalación con una longitud de pulso menor que 500 ns
2. Aceleración hasta 250 MeV y extracción lenta durante un tiempo comprendido entre 1 ms y 10 s

Alternativamente, si solo se desean unas pocas energías discretas, la energía de inyección puede ser elevada hasta 70 MeV y el inyector usado directamente para aplicaciones a 70 MeV

## Ampliación prevista

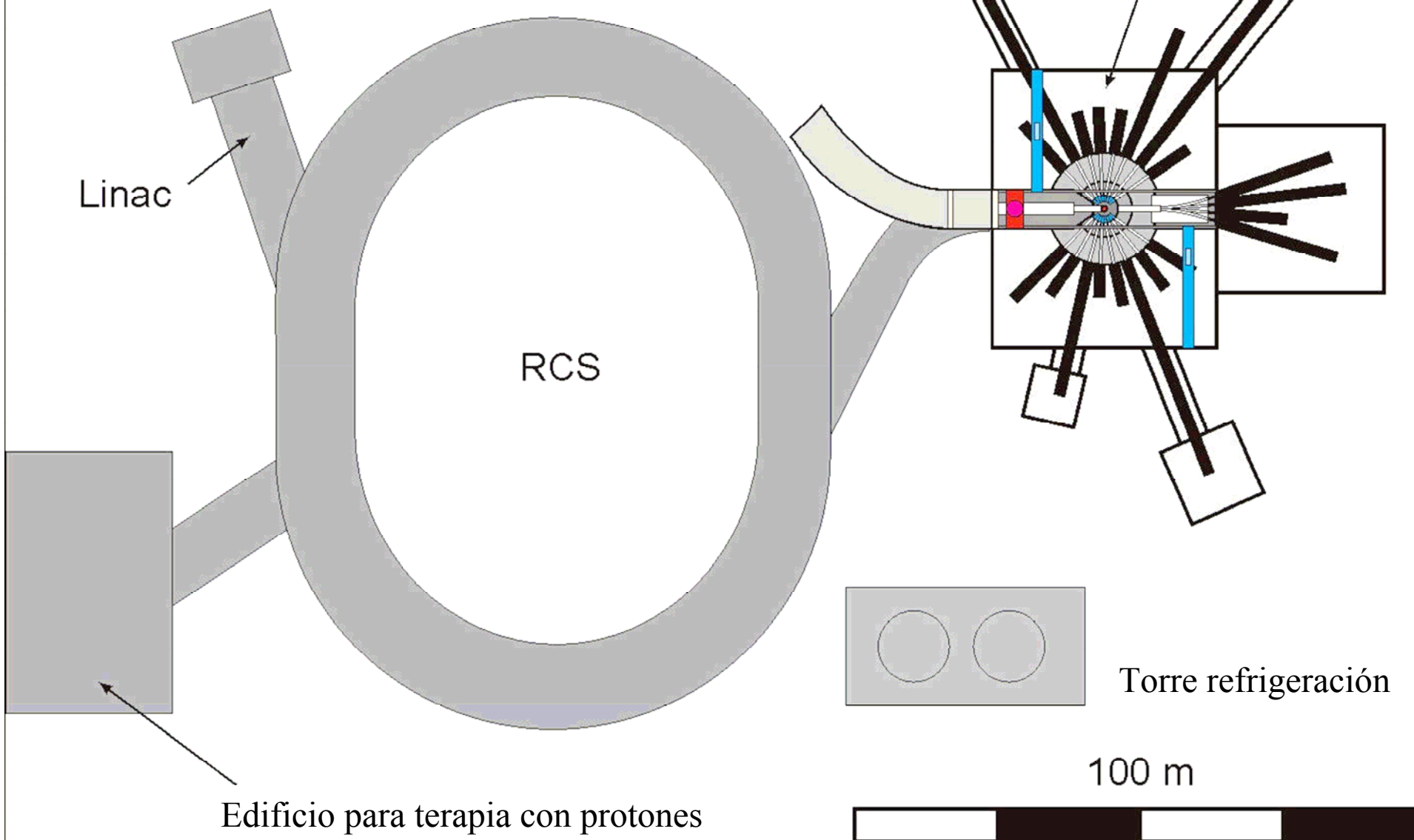
Se pretende prever una ampliación de potencia hasta 1 MW

El límite técnico para la corriente en el LINAC de inyección es de  $\sim 500 \mu\text{A}$ .

Alcanzar esta corriente en el RCS requerirá una energía de inyección de 400 MeV. Esto podría conseguir un haz de 1 MW a 50 Hz o 200 kW a 10 Hz, eventualmente alimentando a dos blancos.

En este momento se está estudiando la refrigeración del blanco a esa potencia

Edificio para oficinas y talleres



Linac

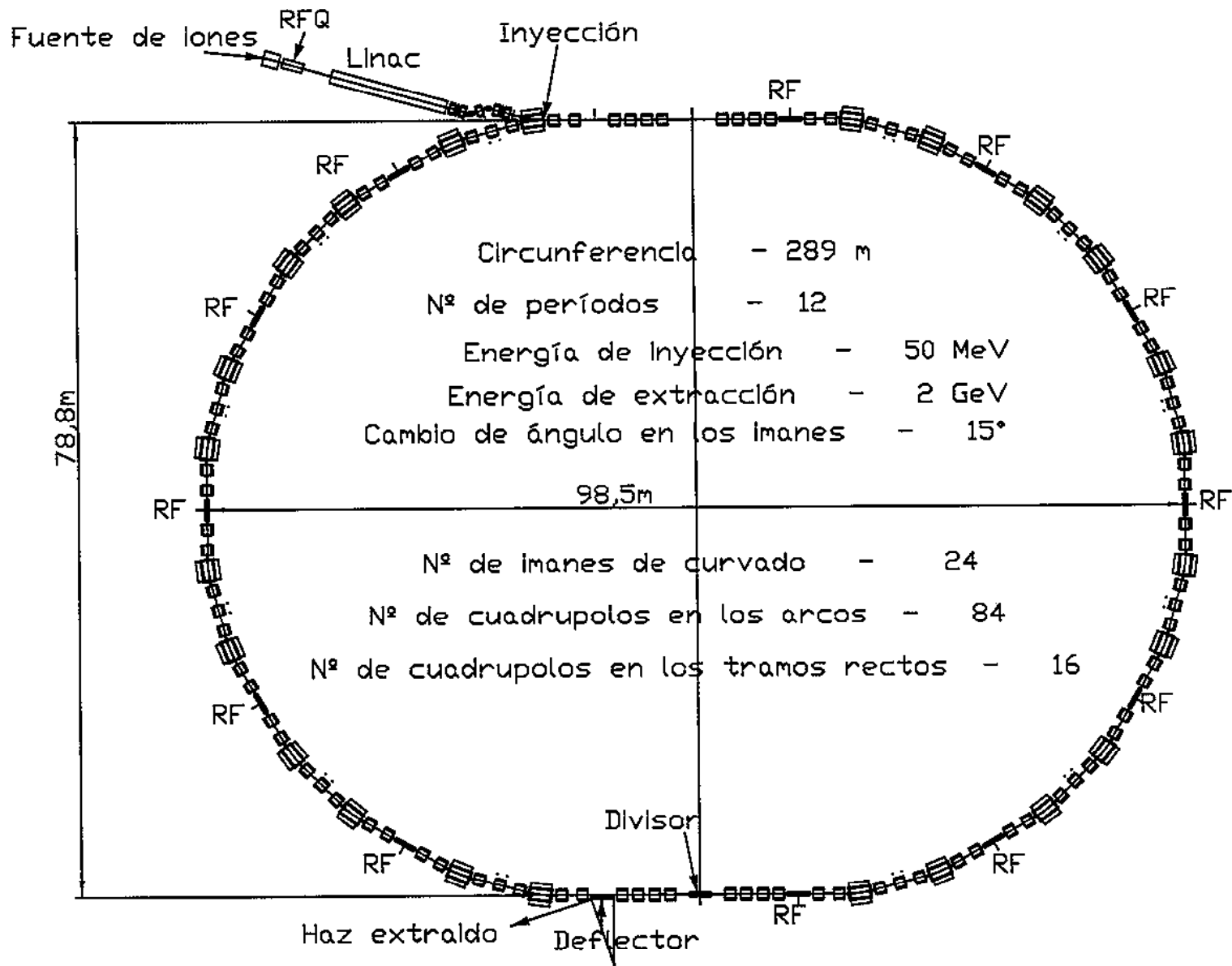
RCS

Edificio del blanco

Torre refrigeración

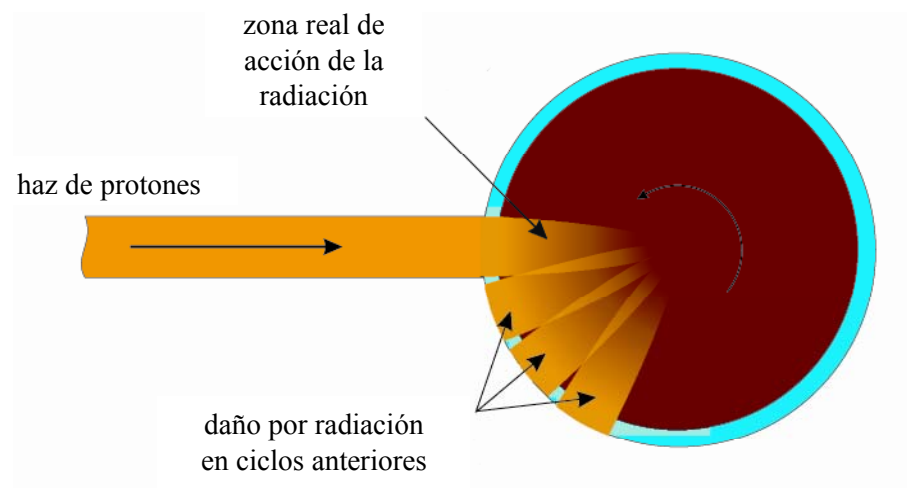
100 m

Edificio para terapia con protones

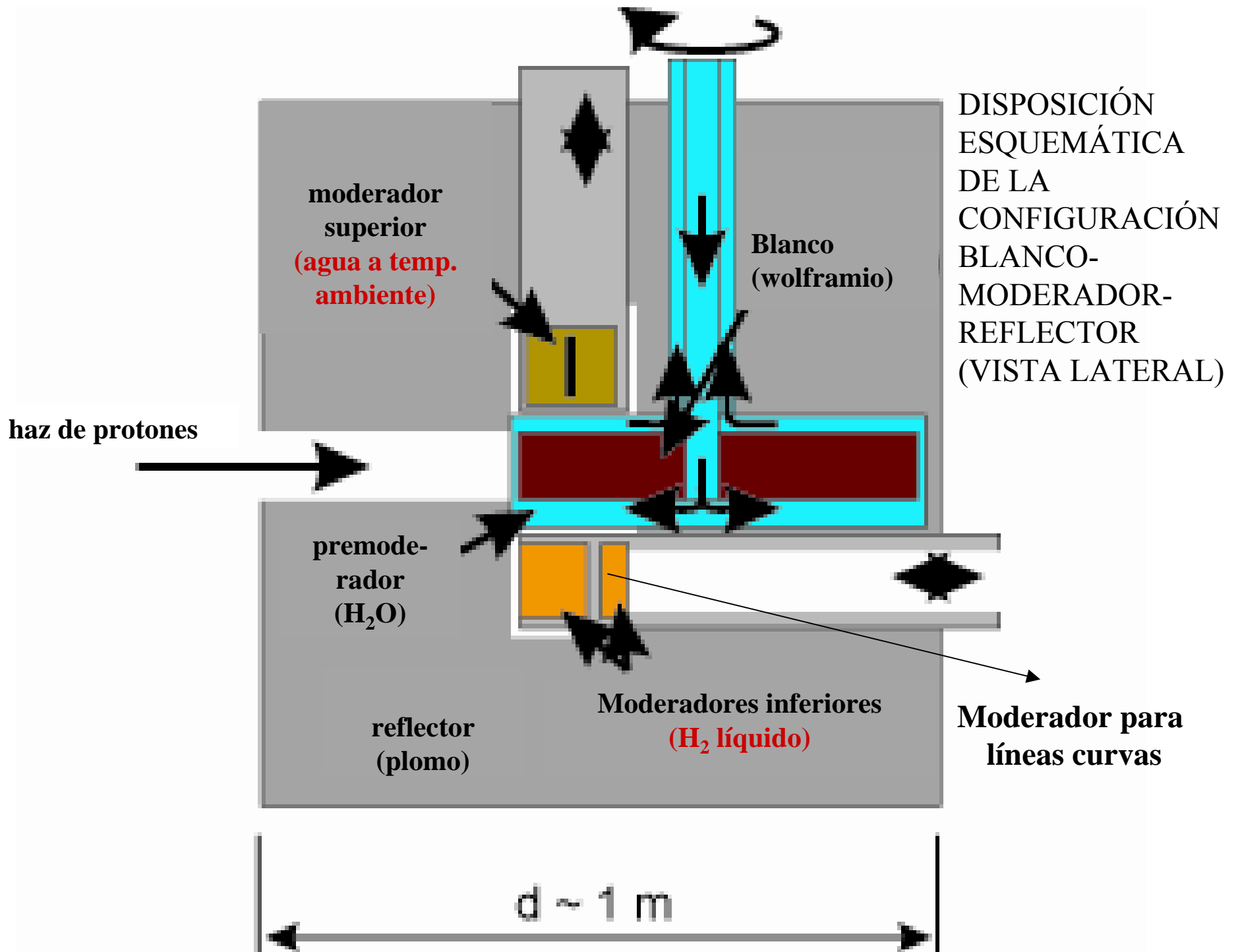


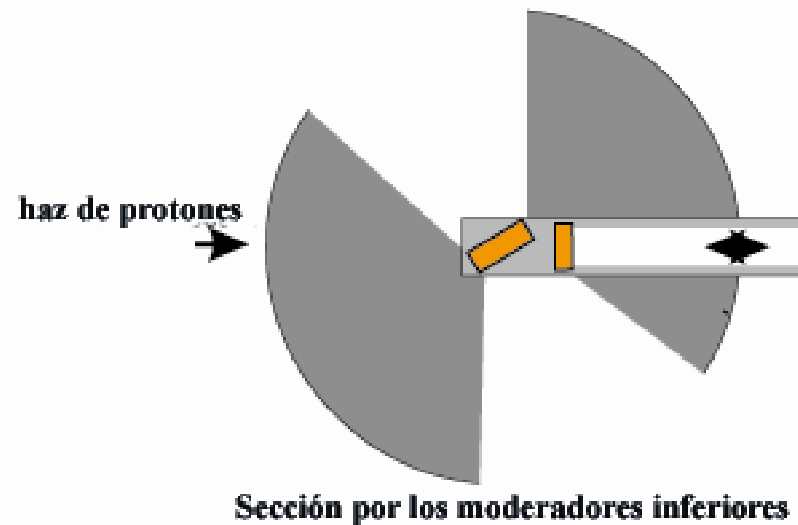
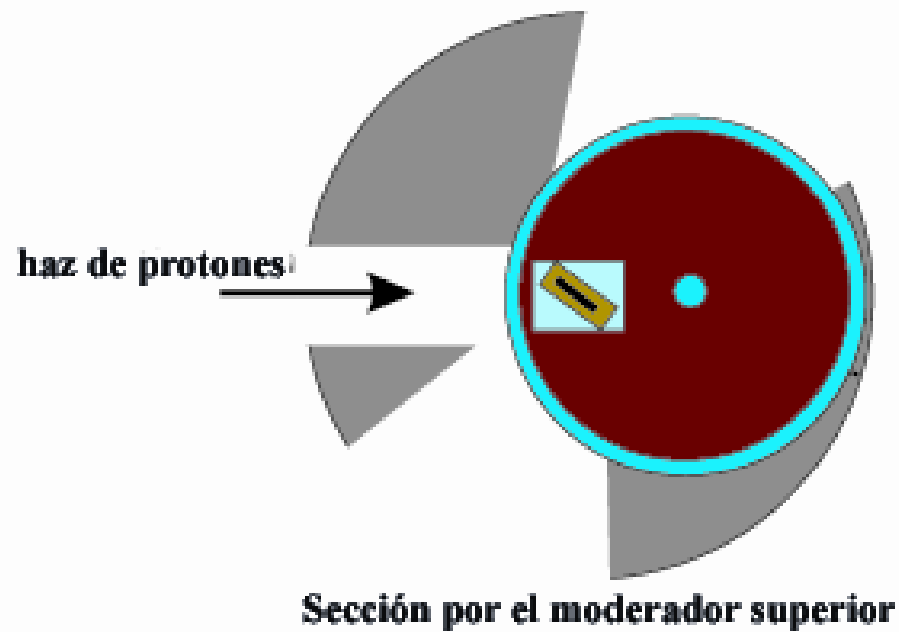
# CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL SINCROTRÓN

Partículas	Protones	
Potencia del haz	250	kW
Energía del haz en la inyección	50	MeV
Energía del haz en la extracción	2000	MeV
Energía máxima alcanzable del haz	2500	MeV
Frecuencia de repetición	50	Hz
Intensidad media	125	$\mu\text{A}$
Flujo medio de partículas	7,80 E+14	pps
Partículas por pulso	1,56 E+13	ppp
Momento de la partícula en la inyección	309	MeV/c
Momento de la partícula en la extracción	2780	MeV/c
Rigidez magnética en la inyección	1,032	T.m
Rigidez magnética en la extracción	9,272	T.m
Factor gamma en la inyección	1,053	
Factor gamma en la extracción	3,132	
Velocidad relativa $\beta = v/c$ en la inyección	0,3140494	
Velocidad relativa $\beta = v/c$ en la extracción	0,94764431	
Eficacia del <i>trapping</i> en inyección	95	%
Emitancia del haz, horizontal	200	mm.mrad
Emitancia del haz, vertical	200	mm.mrad
Dispersión de energía	0,01	
Dispersión del momento	0,00512977	



ÁREAS DE DAÑO POR RADIACIÓN EN EL DISCO-BLANCO TRAS 4 CICLOS DE OPERACIÓN



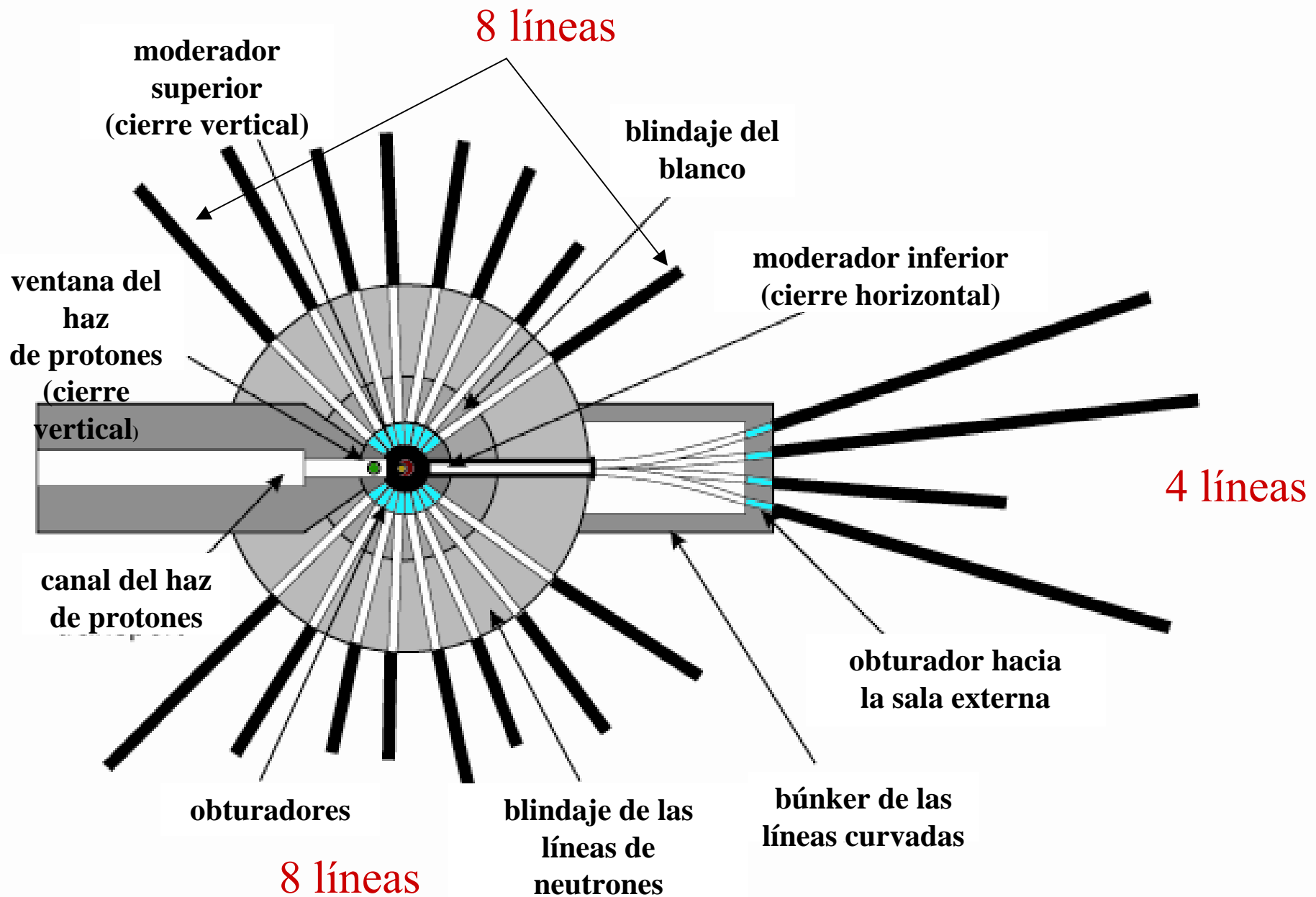


DISPOSICIÓN ESQUEMÁTICA DE LA CONFIGURACIÓN  
BLANCO-MODERADOR-REFLECTOR (VISTA  
SUPERIOR)

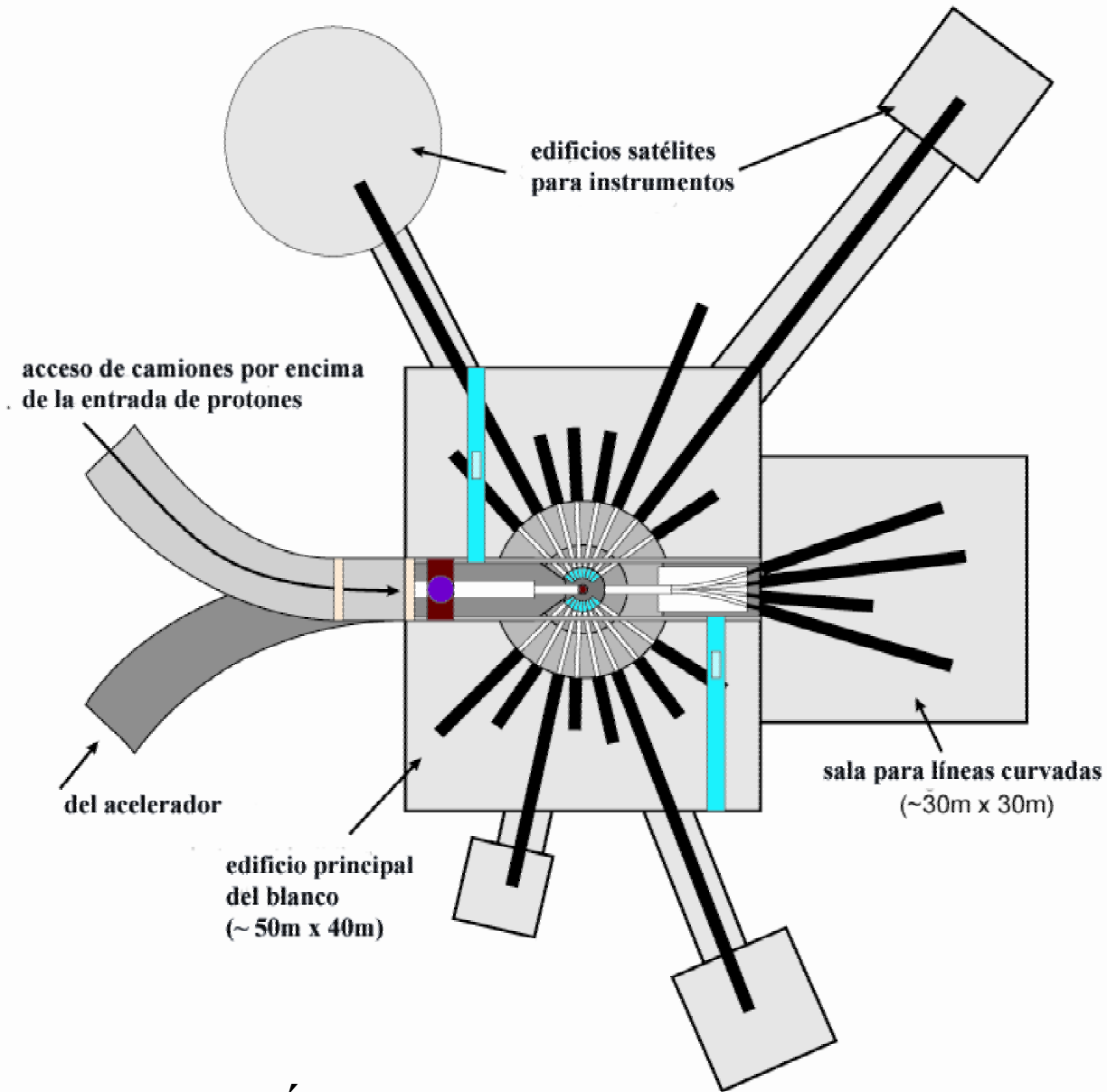


**FLUJO DE NEUTRONES TÉRMICOS EN LOS MODELOS DE MODERADOR ACOPLADO Y CON PREMODERACIÓN PARA ENERGÍA Y POTENCIA DEL HAZ DE PROTONES 2,0 GeV / 0,25 MW**

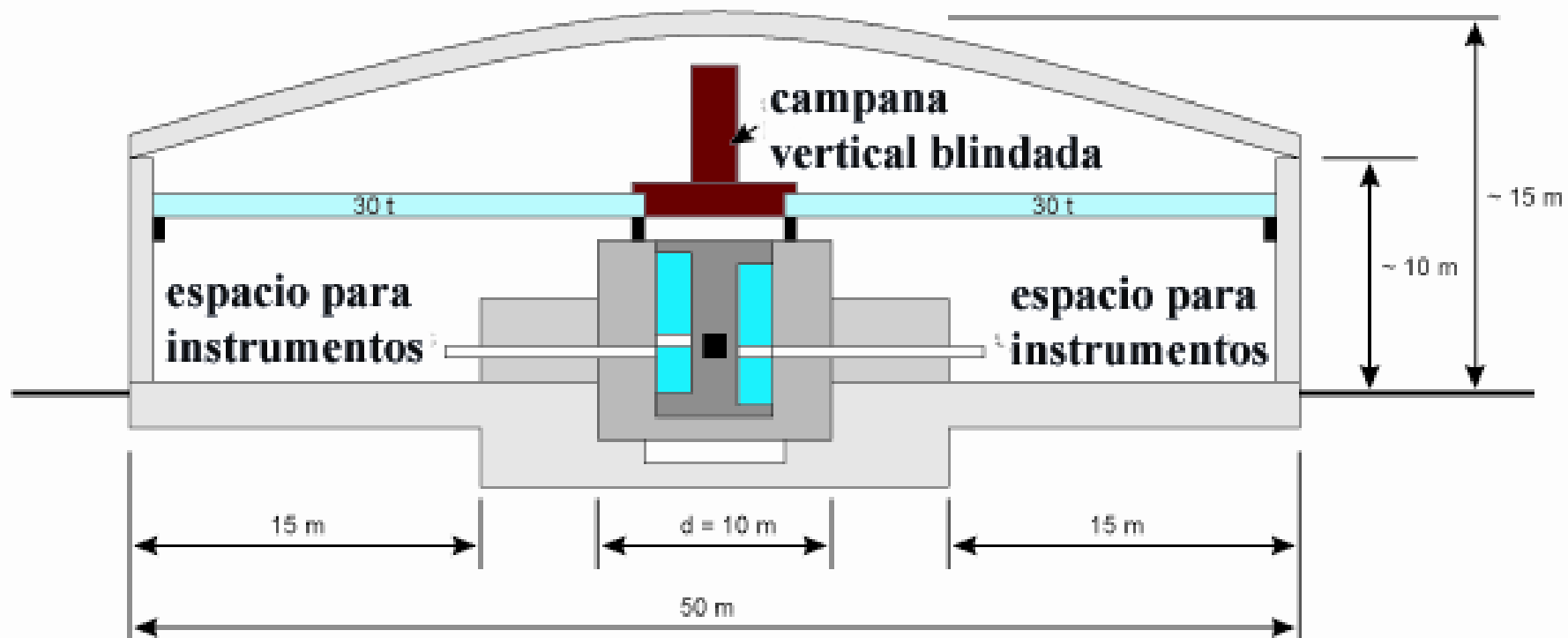
Tipo de moderador	Flujo neutrónico n/cm <sup>2</sup> .s	
	$\Phi_{th}$ máx	$\Phi_{th}$ av
H <sub>2</sub> O, (T=300K), acoplado	6,6.10 <sup>15</sup>	1,5.10 <sup>13</sup>
Para-hidrógeno (T=20K) con premoderación / acoplado	4,5.10 <sup>15</sup>	1,6.10 <sup>13</sup>



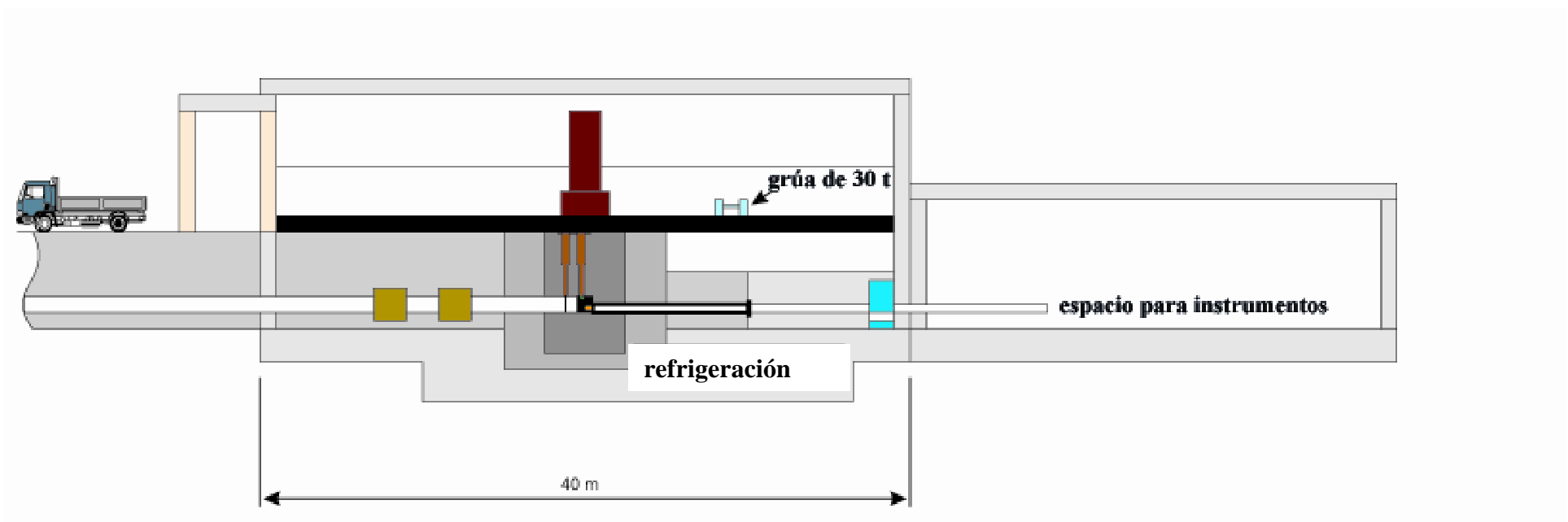
DISPOSICIÓN ESQUEMÁTICA DEL BLOQUE DE BLINDAJE DEL BLANCO



DISPOSICIÓN ESQUEMÁTICA DEL BLANCO Y LA SALA DE GUÍAS (VISTA SUPERIOR)



DISPOSICIÓN ESQUEMÁTICA DEL BLANCO Y LA SALA DE GUÍAS (SECCIÓN TRANSVERSAL)



DISPOSICIÓN ESQUEMÁTICA DEL BLANCO Y LA SALA DE GUÍAS (SECCIÓN LONGITUDINAL)

## Aplicaciones industriales

La estructura interna del PIB es la siguiente:

Industria química y petroquímica: 1,7 %

Metalurgia y construcción de maquinaria: 11,07 %

Industria de la construcción: 7,95 %

Sistemas de transporte: 2,2, %

Este conjunto de sectores representan ~25% del PIB y pueden beneficiarse de la instalación a través de:

- Radio- y Tomografía neutrónica
- Determinación de tensiones y texturas
- Análisis por activación neutrónica
- Producción de radioisótopos

## Areas de aplicación de la Radio- y Tomografía neutrónica:

- Industria aeroespacial: manufactura de turbinas para aviones, corrosión en alas de aeronaves
- Industria de automoción y naval: motores y soldaduras
- Ingeniería civil: absorción de agua en materiales de construcción, grietas en hormigón, materiales de construcción

## Tensiones y texturas:

- Industria de transporte: railes, engranajes, ruedas
- Industria aeroespacial: estructuras mecánicas
- Recipientes a presión y tuberías de pared gruesa
- Análisis de recubrimientos

## Análisis por activación neutrónica:

- Determinación de F y V en la industria petroquímica
- Detección de oxígeno en muestras metalúrgicas

## Producción de isótopos

## Producción de isótopos:

En España no hay producción de isótopos, salvo la producción de isótopos para PET por unos pocos ciclotrones.

El País Vasco emplea

~ 30.000 monodosis anuales de radionucleidos para diagnóstico convencional ( $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{123}\text{I}$ , ...)

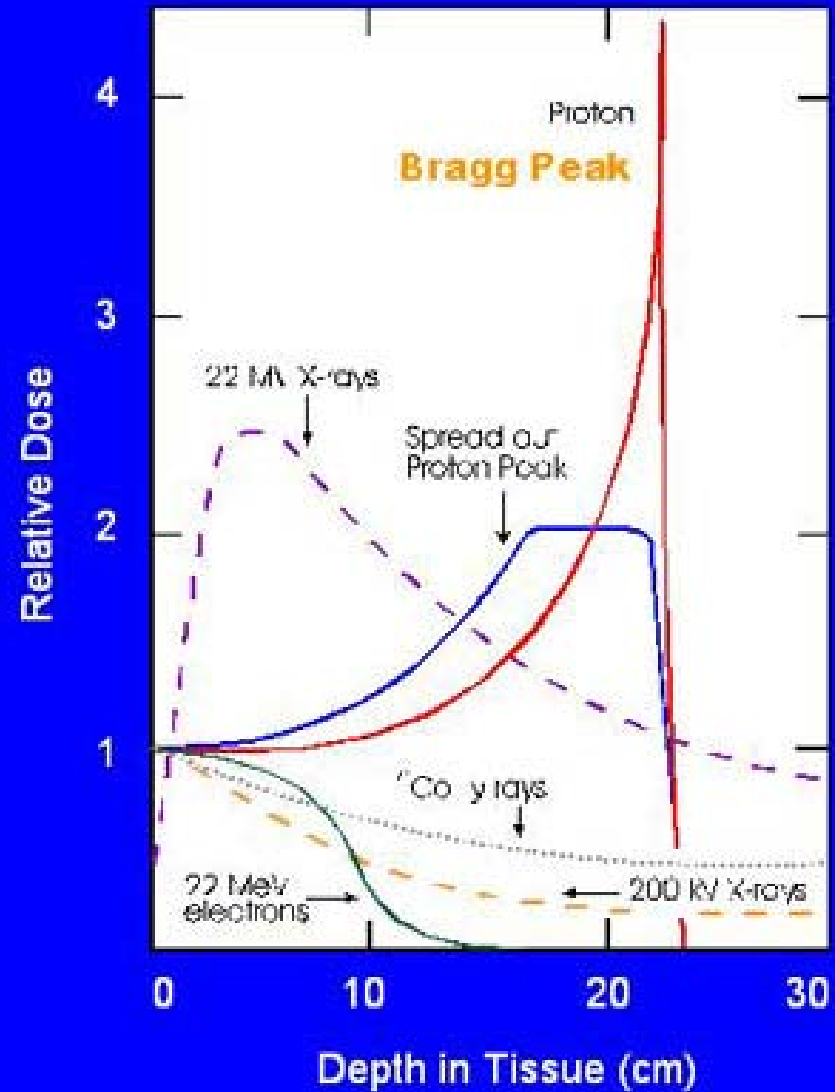
~ 3.000 monodosis anuales de radionucleidos para diagnóstico por Tomografía por Emisión de Positrones ( $^{11}\text{C}$ ,  $^{18}\text{F}$ , ..)



# Aplicaciones terapéuticas

## Bragg Peak

- Proton
- Spread-out Proton Peak
- 22 MV X-rays
- 22 MeV electrons
- Co-γ rays
- 200 kV X-rays

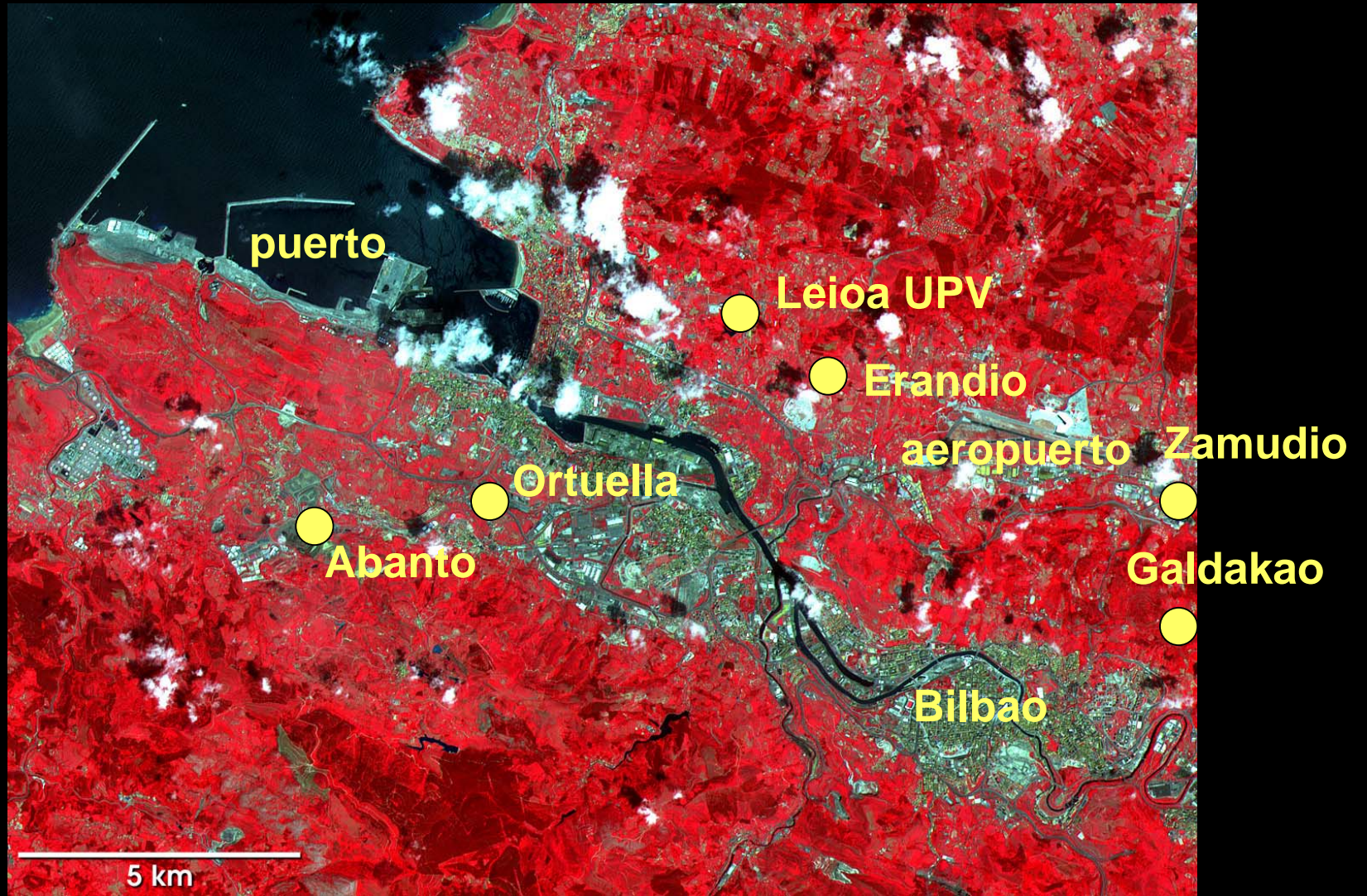


## Parque Inicial de Instrumentos para Dispersión de Neutrones

- Instrumentos para el estudio de estructuras cristalinas, magnéticas y orden de corto alcance
  - Difractómetro de scattering total
  - Difractómetro de polvo de alta resolución
  - Espectrómetro para muestras en ambientes extremos
  - Difractómetro para monocristales con opción de análisis de polarización
- Instrumentos para el estudio de estructuras a gran escala
  - Dispersión a bajo ángulo (A)  $10^{-3}$  to  $10 \text{ \AA}^{-1}$
  - Dispersión a bajo ángulo (B)  $10^{-4}$  to  $10 \text{ \AA}^{-1}$  con incidencia rasante.

## Parque Inicial de Instrumentos para Dispersión de Neutrones

- Espectrómetros para propiedades dependientes del tiempo
  - Espectrómetro de geometría directa
  - Espectrómetro cuasielástico en geometría inversa (retrodispersión)
  - Espectrómetro inelástico dedicado a la determinación de la distribución de frecuencias espectrales
- Instrumentos de propósito general
  - Difractómetro de Laue para estudios de caracterización en monocristales
  - Espectrómetro de transmisión, capaz de proporcionar en un solo pulso una medida de la sección de dispersión total



La fuente europea de espalación (ESS)

En el informe a la Comisión de la Comunidad Europea sobre Grandes Instalaciones (1990) se recomienda iniciar un estudio de diseño sobre una fuente de neutrones de siguiente generación.

Se inicia en Junio de 1993 y el estudio de viabilidad se publica a finales de 1996 y propone una fuente de 5 MW con dos blancos:

- Pulso corto, 50 Hz y 4 MW
- Pulso corto, 10 Hz y 1 MW

El proyecto se evoluciona hasta un diseño que contempla dos estaciones de 5 MW cada una.

A finales de los 90, la OCDE inicia la consideración de la estrategia necesaria para proveer los neutrones que se necesitan y concluye en 1999 proponiendo la construcción de tres grandes fuentes de neutrones, una en cada una de las principales regiones científicas del planeta: Norteamérica, Asia-Pacífico y Europa.

La norteamericana ha arrancado en Mayo de 2006

La japonesa preve arrancar a comienzo de 2007

El proyecto europeo se abandona en 2003

En Europa se constituye (2002) el Foro Europeo para la Estrategia de Infraestructuras de Investigación (ESFRI) que comienza su trabajo en 2003.

## 3.2.- Strong support

**The new initiative has achieved the support of a numerous group of agents in Spain.**

**FINANCING is currently being afforded by the Spanish and Basque Governments.**

**1**

### NATIONAL SUPPORT

- SPANISH SCIENCE AND TECHNOLOGICAL NETWORK
- SPANISH AND REGIONAL GOVERNMENTS
- MOST IMPORTANT UNIVERSITIES AND TECHNOLOGYCENTRES IN SPAIN
- COMPANYR&D UNITS

**2**

### FINANCING PROPOSAL FOR THE ESS

- THE PROPOSED FINANCING FOR THE REGIONAL FACILITY (330 M€) COULD BE APPLIED TO THE ESS PROJECT IF HOSTED IN SPAIN



## Requerimientos para el emplazamiento:

Superficie: 1,04 km<sup>2</sup> (104 Ha)

Longitud mínima: 1,3 km

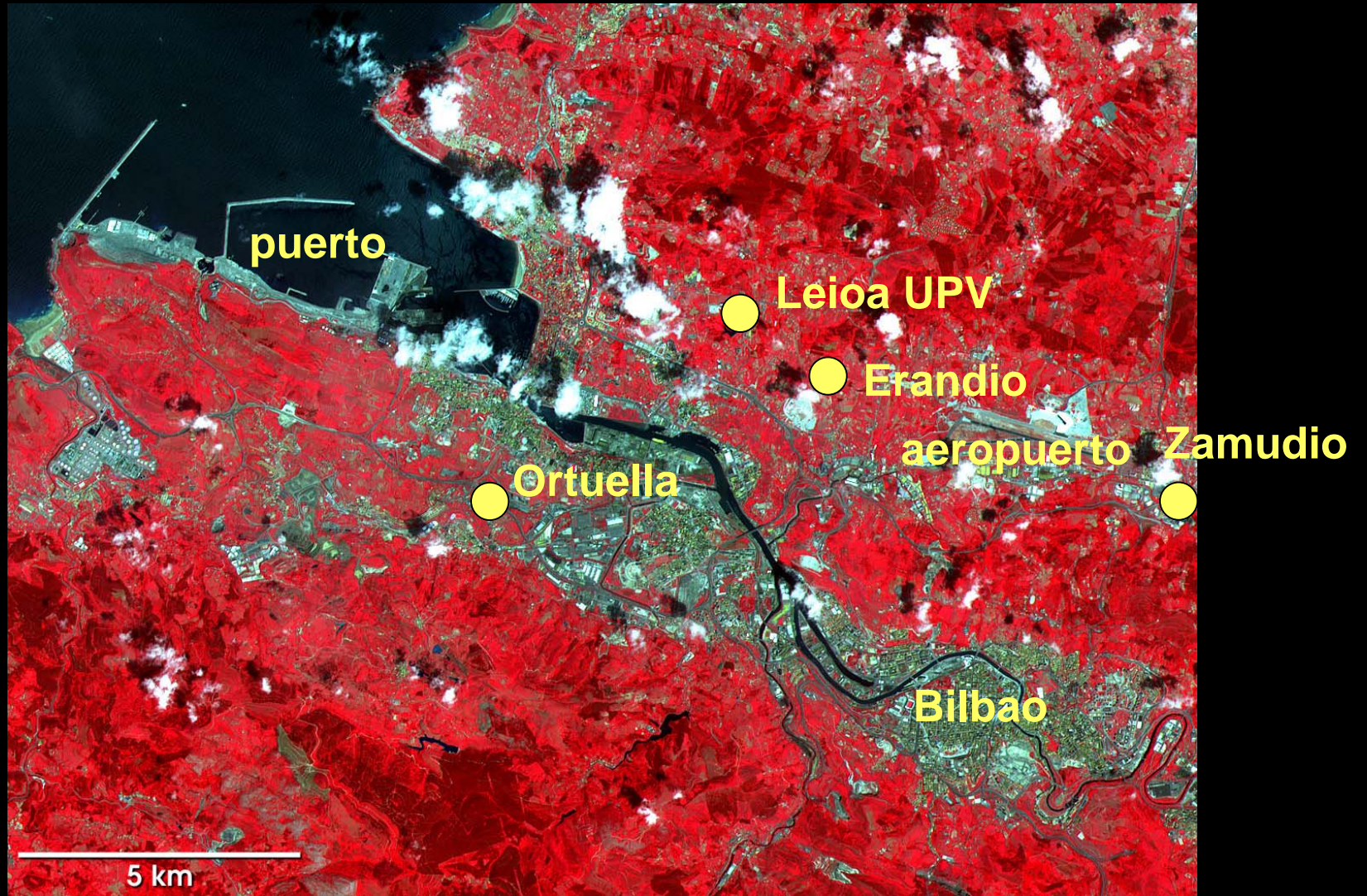
Anchura mínima: 0,8 km

Debiera preverse la posibilidad de ampliar las instalaciones experimentales

Suministro eléctrico fiable de 150 MW

Suministro de agua potable de 200 m<sup>3</sup>/h

Suministro de agua adicional para extinción de incendios



ESFRI termina su trabajo a finales de septiembre y publica el Roadmap de grandes infraestructuras el 19 de octubre de 2006.

El informe de ESFRI considera una fuente de pulso largo.

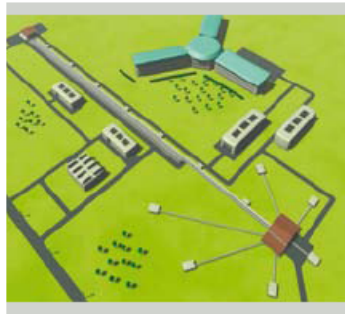
No hay acuerdo en la comunidad científica respecto a la factibilidad de este tipo de fuente.

	Projects (in alphabetical order per discipline)	Estimated Construction Cost (M€) *	First possible operations for users	Indicative Operational/ Deployment Cost (M€/year)	Description
Social Sciences & Humanities	CESSDA	30	2008	6	Facility to provide and facilitate access of researchers to high quality data for social sciences
	CLARIN	108	2008	10	Research Infrastructure to make language resources and technology available and useful to scholars of all disciplines
	DARIAH	10	2008	4	Digital infrastructure to study the sources in cultural heritage institutions
	EROHS	43	2008	12	Central and distributed facility to promote and ensure cooperation and integration of data, technologies and policies
	ESS : European Social Survey	9	2007	9	Upgrade of the European Social Survey (set up in 2001 to monitor long term changes in social values)
	SHARE	50	2007	< 1	Data infrastructure for empiric economic and social science analysis of the on-going changes due to population ageing
Environmental Sciences	AURORA BOREALIS	360	2010	18	European Polar Research Icebreaker
	EMSO	150	2011	20	Multidisciplinary Seafloor Observatory (5 sites)
	EU-FAR	50 - 100	2007	2 - 4	Long Range Tropospheric Aircraft (options: C130 or Airbus 400M)
	EURO-ARGO (GLOBAL)	76	2010	6	Ocean Observing buoy system (deployment over 12 years)
	IAGOS-ERI (GLOBAL)	20	2008	6	Climate Change Observation from 20 commercial aircrafts (deployment)
	ICOS (GLOBAL)	255	2010	13	Integrated Carbon Observation System (deployment/operation over 20 years)
	LIFE WATCH	370	2014	70	Infrastructure for research on the protection, management and sustainable use of biodiversity
Energy	HIPER	850	2015	80	High Power long pulse Laser for "fast-ignition" Fusion
	IFMIF (GLOBAL)	855	2017	80	International Fusion Materials Irradiation Facility
	JHR	500	2014	30	High flux reactor for Fission Reactors Materials Testing
Biomedical and Life Sciences	EATRIS	255	2010	50	Network of new research centres to translate basic discoveries into clinical interventions in major diseases
	European Bio-banking and Biomolecular Resources	170	2009	15	Network of existing and new biobanks (samples and data from patients and healthy persons) and molecular resources
	INFRAFRONTIER	320	2007	36	Distributed infrastructure for the archiving and phenotyping of mice as models for studying human diseases
	Infrastructure for Clinical Trials and Biotherapy Facilities	36	2007	5	Network of clinical research centres, clinical trials and biotherapy facilities for therapeutic innovations
	Integrated Structural Biology Infrastructure	300	2007	25	Network of centres for integrated structural biology (protein production, NMR, crystallography, microscopy)
	Upgrade of European Bio-Informatics Infrastructure	550	2007	7	Shared platform for data resources in the Life Sciences (based on a major upgrade of EBI)
Material Sciences	ELI	150	2013	6	Extreme Light intensity short pulse Laser
	ESRF Upgrade	230	2007-2014	NA	Upgrade of the European Synchrotron Radiation Facility (in 7 years)
	ESS: The European Spallation Source	1050	2017	80	European Spallation Source for neutron spectroscopy
	European XFEL	986	2013	84	Hard X-ray Free Electron Laser in Hamburg
	ILL 20/20	160	2012-2017	NA	Upgrade of European Neutron Spectroscopy Facility (in 2 phases)
	IRUVX-FEL	760	2006-2015	70	Infrared to soft X-rays complementary Free Electron Lasers (in 5 users facilities)
	PRINS	1110	2008-2013	256	Pan-European Infrastructure for Nanostructures and Nanoelectronics
Astronomy, Astrophysics, Nuclear and Particle Physics **	ELT: The European Extremely Large Telescope	850	2018	40	European Extremely Large optical telescope
	FAIR	1186	2014	120	Facility for Antiproton and Ion Research
	KM3NET	220-250	2015	NYD	Underwater Neutrino Observatory (in design phase)
	SKA: The Square Kilometre Array (GLOBAL)	1150	2014-2020	100	Square Kilometre Radiotelescope Array (in two phases)
	SPIRAL 2	137	2011	7	Production and study of rare isotope Radioactive beams (toward the future facility EURISOL)
CDT	EU-HPC	200-400	2008	100-200	Integrated European High Power Computing Service (2 - 4 high-end centers)

# EUROPEAN SPALLATION SOURCE FOR PRODUCING NEUTRONS

## The facility

**ESS will be the world's most powerful source of neutrons. Its built-in upgradeability (more than the initial 20 instruments, more power, more target stations) makes it the most cost-effective top tier source for 40 years or more. A genuine pan-European facility, it will serve 4,000 users annually across many areas of science and technology.**



## Background

Fine analysis of matter requires the complementary use of diverse "probes" and techniques: light rays, neutrons, NMR, computer modelling and simulations and so on. Intense beams of low energy neutrons create entirely new opportunities, including movies of nano-scale events, for real time, real size, in situ, in vivo and parametric measurements to elucidate structures, dynamics and functions of increasingly complex inorganic, organic and biomaterials and systems. The ESS is a strategic project for Europe.

## What's new? Impact foreseen?

Neutron beams produced by reactors are inherently intensity-limited. The ESS R&D and design phase (>50 M€; all major European labs, >100 top scientists) has shown the feasibility of MW spallation sources. In line with the global neutron strategy endorsed by OECD ministers in 1999, the US has now commissioned its facility, based on the ESS design, and Japan will follow suit in 2007/2008. The initial long pulse configuration of ESS provides substantially higher power, maximum complementarity and the largest instrument innovation potential. Its unique upgradeability guarantees a long-term top position. ESS will also offer new modes of operation and user support to maximally facilitate industry, next to university and research lab users.

The higher flux will allow advanced and more effective investigations of ultrathin and laterally confined structures for ICT reading devices, active site structures in enzymes, technologies for storing hydrogen, multicomponent complex fluids in porous media for tertiary oil production, the templating of nanostructures for catalysts, medical implants, pharmaceuticals, photonic materials etc. Requirements for novel detectors, instrument and software technologies will be additional drivers of innovation. ESS, a multifunctional facility with applications in many industries, will also have a marked regional impact (new firms in areas of regional specialisation, positive effect on regional as well as European talent pool, etc).

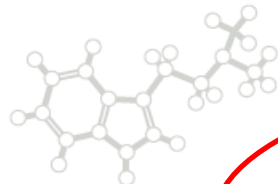
## Timeline and estimated costs

The ESS project was initiated in the early nineties. The science case and the preliminary baseline range (design and cost) are ready and allow formal negotiations to start in 2006, in parallel to a decision to complete the detailed engineering design including detailed costing and optimisation. This performance baseline is the basis for go-ahead which can be at the end of 2008 if negotiations are completed.

Start of construction 2009; First neutrons 2016; First user operations 2017/2018.

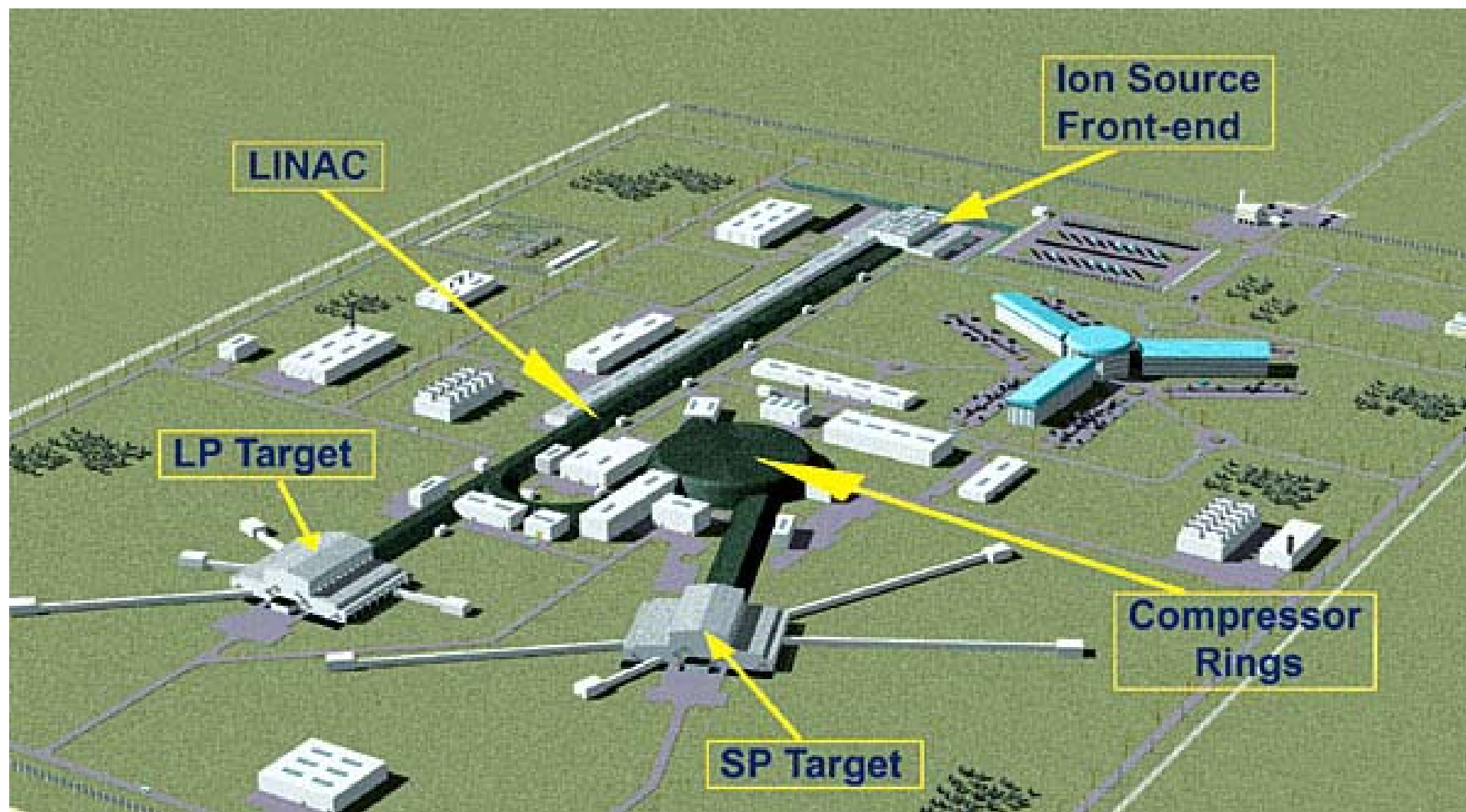
Preparatory costs 30 M€.

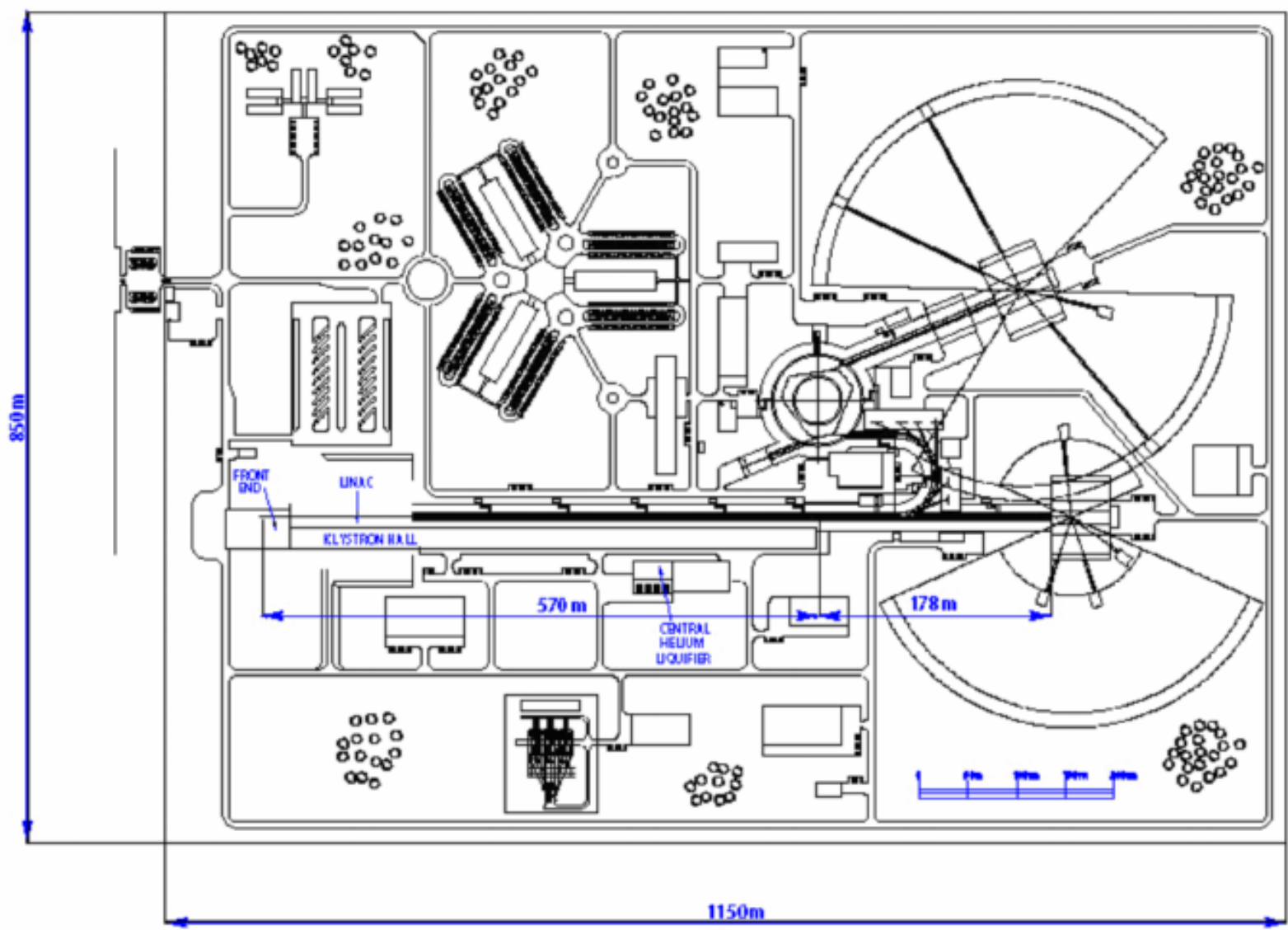
Total expected construction costs ~1,000 M€, operation cost ~80 M€/year.



## Material Sciences

Estimated construction cost (M€)	1050 M€
First open access foreseen	2017





Acelerador:

LINAC de 1.334 GeV - 10 MW

Líneas:

1.- Pulso corto

Doble compresor

Compresión: 800

Corriente media: 3.75 mA

Potencia media en el haz: 5 MW

Corriente de pico: 62.5 A

Frecuencia de repetición de pulso: 50 Hz

Duración de pulso: 1.4  $\mu$ s (2  $\times$  600 ns con 200 ns de separación)



## 2.- Pulso largo

Alimentación directa del LINAC

Corriente media: 3.75 mA

Potencia media en el haz: 5 MW

Corriente de pico: 112.5 A

Frecuencia de repetición de pulso:  $16 \frac{2}{3}$  Hz

Duración de pulso: 2 ms

Blanco:

Mercurio

Flujo líquido

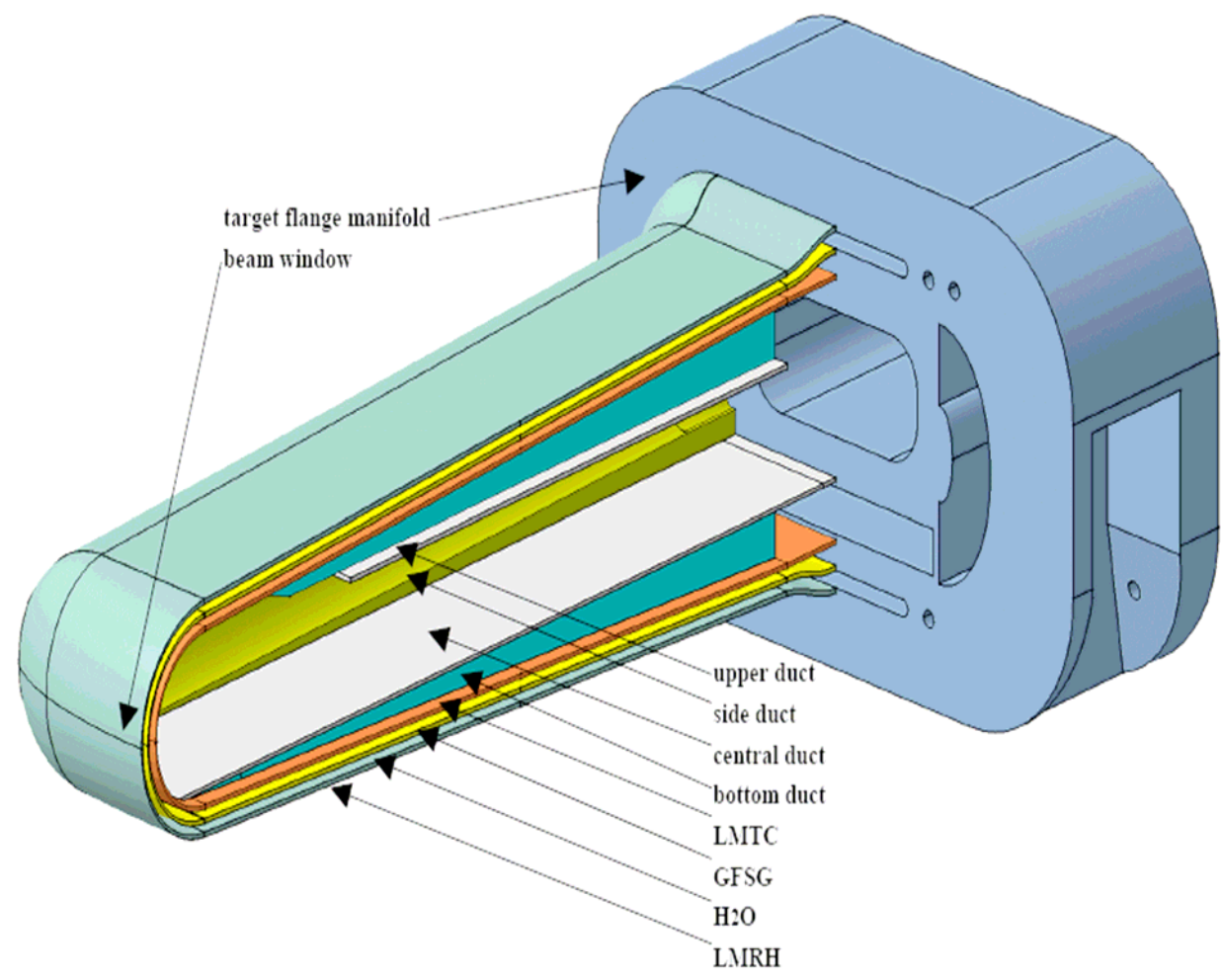
Contenedor: Acero (martensítico)

Moderadores:

H<sub>2</sub>O a temperatura ambiente, acoplado/desacoplado

H<sub>2</sub> Líquido a 20 K, acoplado/desacoplado

Reflector plomo, refrigerado por D<sub>2</sub>O



Flujo neutrónico térmico medio para 5 MW en el blanco:  
 $3.1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Flujo térmico de pico:

Pulso corto:

$$1.3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Pulso largo:

$$1.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Tiempo de decaimiento de flujo (modo dominante): 150  $\mu\text{s}$

## Situación actual

Comenzar con una fuente de pulso largo de 5 MW capaz de albergar 40 instrumentos.

Debiera preverse la posibilidad de ampliación a 10 y quizá a 15 MW

Blanco: considerar la posibilidad de emplear un blanco fijo o uno rotatorio

