

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DE LA LÍNEA DE LUZ DE ALBA PARA LA DIFRACCIÓN DE MATERIAL NO CRISTALINO CON EL FIN DE SER USADO COMO LÍNEA DE LUZ DE REFERENCIA EN EL CONCURSO DEL CONTRATO DE CONSULTORÍA Y ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS DE INGENIERÍA RELATIVOS AL DISEÑO DE LAS LÍNEAS DE LUZ PARA EL LABORATORIO DE LUZ DE SINCROTRÓN ALBA

Número de expediente: 15/06

Registro de cambios en el documento

<i>Versión</i>	<i>Fecha</i>	<i>Sección/oja</i>	<i>Comentario</i>
1			

Índice

ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
1 INTRODUCCIÓN Y ALCANCE	6
1.1 OBJETIVOS CIENTÍFICOS DEL PROYECTO Y REQUERIMIENTOS DE LA LÍNEA DE LUZ	6
1.2 ÁMBITO DE APLICACIÓN Y ELEMENTOS REQUERIDOS	7
2 CONCURSO Y GESTIÓN DEL CONTRATO	9
2.1 CONCURSO	9
2.2 ESTÁNDARES DE CELLS	10
3 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS - DISEÑO PRELIMINAR	10
3.1 GENERAL	10
3.2 CABINAS	12
3.3 ÓPTICA DE RAYOS X	13
3.4 ESPEJOS	14
3.5 MONOCROMADOR DE RAYOS X	28
3.6 DIAGNÓSTICO DEL HAZ DE FOTONES	40
3.7 VENTANAS DE BERILIO Y FILTROS	41
3.8 RENDIJAS PRIMARIAS PARA EL HAZ BLANCO	42
3.9 RENDIJAS PARA EL HAZ MONOCROMÁTICO	42
3.10 COMPUERTA DE RADIACIÓN SINCROTRÓN (<i>BEAM SHUTTER</i>)	45
3.11 PIES DE SOPORTE, TUBOS DE VACÍO, FUELLES	45
3.12 POSICIONAMIENTO	45
3.13 INTERRUPTORES DE LÍMITE	46
3.14 MOTORES	47
3.15 ENCÓDERS	47
3.16 RECAMBIOS	47
3.17 VACÍO	47
3.18 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE VACÍO	47
4 GESTIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD	51
4.1 GENERAL	51
5 REFERENCIAS	51

ÍNDICE DE TABLAS DEL DOCUMENTO:

Página	Tabla	Título
7	1	Resumen de las características y rendimiento esperados para la línea NCD
13	2	Resumen de las posiciones de los elementos ópticos en la estación NCD
20	3a	Resumen de las especificaciones del espejo colimador
21	3b	Resumen de las especificaciones para el espejo toroidal
21	4	Especificaciones para los curvadores
24	5	Movimientos requeridos para los espejos
25	6	Cámara de vacío y sistema del espejo colimador
26	7	Cámara de vacío y sistema del espejo vertical
27	8	Puertos requeridos en las cámaras de vacío de los espejos
27	9	Conectores estándar usados en CELLS
27	10	Especificaciones para el soporte del cristal
35	11	Ajustes para el soporte y el control de movimientos del DCM
36	12	Ajustes en el posicionamiento del contenedor de los cristales
37	13	Especificaciones para los cristales de Si (111)
37	14	Puertos de acceso de la cámara de vacío del monocromador
42	15	Especificaciones de las rendijas
43	16	Especificaciones para los encoders
44	17	Especificaciones de las hojas de las rendijas
49	18	Presiones de vacío requeridas

Índice de figuras del documento:

Página	Figura	Título
11	1	Curvas de selección de energía (<i>tuning curves</i>) de un ondulator en vacío U21.3 para un espaciado (<i>gap</i>) de 5.5 y de 7.0 mm normalizadas a una intensidad del haz del anillo de almacenamiento de 100 mA. Las curvas fueron calculadas usando SRW [1].
11	2	Localización y trazado preliminares de las estaciones de NCD y de μ -foco en relación al ondulator principal.
14	3	Reflectividad del Rh en el rango de energías de interés, calculada usando los recursos disponibles en http://www-cxro.lbl.gov/optical_constants/
16	4	Definición de los ejes y rotaciones de un espejo
19	5	Diseño esquemático de la estación de NCD propuesta para el anillo de almacenamiento de ALBA. El espejo toroidal reduce en la dirección horizontal en una ratio de 2:1. La aceptación de la línea es de $\sigma'_x = 0.047$ mrad horizontalmente y $\sigma'_z = 0.011$ mrad verticalmente. La distancia entre muestra y detector (<i>simple to detector distance, SDD</i>) puede variar entre 0.2 m mínimo y 11 m máximo.
30	6	Esquema de la configuración de un monocromador de cristal doble de salida fija con el eje de rotación del ángulo de Bragg común a ambos cristales. Dicho eje se sitúa en la intersección de la normal a la superficie del primer cristal con una línea extendida paralela a la superficie del segundo cristal.
33	7	Definiciones de los ejes de un sistema de referencia dextrógiro para un monocromador DCM en configuración de “ <i>bounce down</i> ”.
50	8	Esquema del sistema de vacío para la estación NCD

1 INTRODUCCIÓN Y ALCANCE

La fuente española de luz sincrotrón, ALBA, está actualmente en proceso de construcción en Cerdanyola del Vallès, en la provincia de Barcelona, España. La instalación consta de un anillo de almacenamiento (*storage ring*) de 3 GeV de energía, alimentado por un acelerador lineal (*Linac*) de 100 MeV a través de un acelerador circular (*booster*). El anillo de almacenamiento proveerá de intensos haces de fotones a las diversas estaciones experimentales situadas en las líneas de luz (*beamlines*) tangenciales al anillo.

EL CONSORCI PER A LA CONSTRUCCIÓ, EQUIPAMENT I EXPLOTACIÓ DEL LABORATORI DE LLUM SINCROTRÓ (de aquí en adelante, CELLS), consorcio co-fundado por los gobiernos español y catalán en igualdad de condiciones de propiedad y responsabilidad, es el encargado titular de la construcción y operación de la instalación, así como su propietario. El proyecto ALBA es la primera gran instalación de luz sincrotrón en España y como tal, supone nuevas necesidades y perspectivas en lo referente a la consecución de los requerimientos científicos, técnicos, de ingeniería y administrativos que conlleva.

Las presentes especificaciones funcionales describen los requerimientos generales que deben aplicarse en el diseño técnico detallado de la cabina óptica (*X-ray Optics hutch*) y la cabina de experimentos (*Experimental hutch*), así como de los componentes ópticos, de la línea de luz de Difracción No Cristalina (*Non-Crystalline Diffraction, NCD*, de aquí en adelante, línea NCD). El diseño deberá tener en cuenta la futura incorporación de una rama dedicada a trabajar con microfoco (*μ -focus*). Como referencia, cabe añadir que la línea NCD y la rama *μ -foco* asociada deben ser instaladas en el sector 11 del anillo de almacenamiento de ALBA.

1.1 Objetivos científicos del proyecto y requerimientos de la línea de luz

Las técnicas NCD o de dispersión/difracción de rayos X a pequeños y grandes ángulos (SAXS y WAXS respectivamente de aquí en adelante) (*small and wide angle x-ray scattering/diffraction techniques, SAXS and WAXS*) están experimentando un auge debido, por una parte, al aumento del brillo y la intensidad de los haces de fotones de las fuentes de luz sincrotrón de tercera generación; y por otra, a la creciente disponibilidad de detectores con alta resolución tanto espacial como temporal. Además, las técnicas NCD constituyen una parte fundamental en numerosos proyectos multidisciplinares donde un uso eficaz de medidas complementarias añade solidez a la interpretación de datos de los experimentos de SAXS/WAXS. Todas estas características imponen requisitos específicos a la configuración de la estación experimental. Cabe considerar, finalmente, que el diseño conceptual de la línea de NCD está dirigido a satisfacer las necesidades de la comunidad de usuarios españoles en sus áreas de investigación.

Los experimentos de SAXS/WAXS cubren disciplinas científicas fundamentales y aportan información sobre la arquitectura mesoscópica, las estructuras macromoleculares y los procesos de nucleación/crecimiento de cristales, entre otros. El objetivo específico es el estudio de sistemas semiordenados, grandes estructuras,

sistemas difusos, dispersión en disolución y difusión del volumen.

Es necesario tener en cuenta que los experimentos de NCD requieren un elevado flujo de fotones, así como una divergencia/convergencia del haz baja. Debido a estos condicionantes, la línea estará instalada tras un ondulator en vacío (*in-vacuum undulator*) con un período de 21.3 mm (U21.3) para poder explotar plenamente de este modo la elevada colimación natural del haz emitido en ALBA.

En las propuestas científicas recibidas por CELLS, se señalaron diversas áreas clave para el futuro éxito de la instalación. Referente al diseño de los componentes ópticos, cabe destacar:

- La línea NCD deberá trabajar en un rango de longitudes de onda comprendido entre los 0.9 - 1.9 Å, mientras que la rama de μ -foco operará con longitud de onda fija. Ambas ramas no operarán simultáneamente.
- La disposición de los elementos ópticos debe asegurar la obtención de un haz de fotones de elevado flujo sobre la muestra, con una excelente calidad (en cuanto a colimación y densidad de fotones) y estabilidad.

Partiendo de los requerimientos presentados en la propuesta original, las características básicas y rendimiento esperados para la línea se presentan en la Tabla 1.

Longitud de onda (aproximadamente)	0.9 Å – 1.9 Å (6.5 keV - 13 keV)
Ancho de banda ($\Delta E/E$)	$< 10^{-3}$
Estabilidad en energía	0.25eV (± 0.125 eV)
Tamaño del haz en la posición de la muestra	Variable entre $\sim \sigma_x$: 65 – 1200 μm (Horizontal) $\sim \sigma_z$: 30 – 265 μm (Vertical)
Tamaño del haz en la posición del foco	$\sigma_x = 65 \mu\text{m}$ $\sigma_z = 30 \mu\text{m}$
Estabilidad en el posicionado	1% RMS para un período de 5 s 3% RMS para un período de 1 h
Flujo sobre la posición de la muestra	$\sim 10^{12}$ fotones/s de 1.24 Å con una intensidad del haz de 100 mA

Tabla 1: Resumen de las características y rendimiento esperados para la línea NCD.

Nota: El rendimiento de la línea NCD debe ser *óptimo* para 10 keV, es decir, para una longitud de onda de 1.24 Å.

1.2 Ámbito de aplicación y elementos requeridos

El objetivo del presente concurso es el contrato de una compañía para la producción de las especificaciones técnicas detalladas y los planos para la línea de NCD, todos en conformidad a las especificaciones funcionales incluidas en el presente documento. El Adjudicatario deberá entregar a CELLS las especificaciones técnicas, diseños de

ingeniería y planos apropiados y suficientes como para proceder a sacar a concurso la obtención de los siguientes elementos:

- Las cabinas óptica y de experimentos al completo, con sus componentes asociados, teniendo en cuenta la futura instalación de la rama de μ -foco.
- Monocromador de cristal doble, montado, incluyendo cristales, sistema de refrigeración criogénico, sistemas de vacío y el obturador estático para el haz blanco.
- Espejo colimador en la dirección vertical, incluyendo el curvador, sistemas de vacío y de control.
- Espejo toroidal focalizador, incluyendo el curvador, sistemas de vacío y de control.
- Pantalla de protección para la dispersión Compton.
- Rendijas primarias (para el haz blanco) a instalar probablemente en la conexión frontal anillo-línea (*front end*).
- Rendijas para definir las dimensiones y colimación del haz monocromático.
- Compuerta para radiación sincrotrón (*beam shutter*) entre las cabinas óptica y de experimentos.
- Dispositivos de diagnóstico de posición e intensidad del haz.
- Sistema de vacío ultra alto, incluyendo bombas, ventanas de protección de vacío, tubos, fuelles y soportes varios asociados.
- Sistema de control de vacío y equipamiento asociado.
- Sistema de motores y equipamiento asociado.
- Ensamblaje mecánico para la ventana de mica a instalar en la cabina óptica al final del tubo de vacío (interficie entre el vacío de la línea óptica y el ambiente de la muestra –aire).

El Adjudicatario entregará un conjunto completo de planos técnicos para todos los componentes listados previamente en uno de los siguientes formatos: IDEAS o DXF, además de en PDF. Los códigos identificativos de los planos deben seguir el sistema de numeración de planos de ALBA. Todos los planos entregados serán conservados en el sistema de almacenamiento de planos de CELLS. CELLS dispone de un documento de referencia “Convenciones de nomenclatura de planos de CELLS” (“*CELLS Drawing Naming Convention & Practice*”) codificado como documento END-PM-QA-0020, en el que se detalla el sistema de codificación. El Adjudicatario dispondrá de una copia de dicho documento.

El Adjudicatario deberá proveer así mismo los criterios para una base de datos completa del etiquetaje del cableado conforme a los estándares de CELLS. Dichos estándares se exponen en los documentos siguientes: “Convenciones para la nomenclatura del equipamiento y de las señales” (*Equipment Naming Conventions and Naming of the Signal*, documento END-PM-QA0505) y “Cables y racks para control y potencia” (*Control and Powering Cables and Racks*, documento END-GDEL-EN-004). Una copia de dichos documentos se pondrá a disposición del Adjudicatario.

CELLS tendrá en consideración diseños alternativos y/o adicionales para los componentes del sistema sugeridos por el Adjudicatario. Así mismo, discutirá la posible necesidad del diseño técnico detallado de alguno de los componentes, mencionados o no, en el caso de que se considere necesario.

El Adjudicatario deberá también entregar:

- Las verificaciones mediante FEA (análisis de elementos finitos) de los supuestos preliminares incluidos en las presentes especificaciones funcionales referentes a la idoneidad de los circuitos de refrigeración criogénicos del sistema de monocromador de cristal doble (DCM de aquí en adelante).
- Las verificaciones mediante FEA de los supuestos preliminares incluidos en las presentes especificaciones funcionales referentes a la resistencia frente a la carga térmica de los filtros y del par de ventanas de berilio.
- La definición de los materiales a usar en los elementos encargados a medida.
- La metodología para un ensamblaje limpio de dichas partes.
- Los procedimientos para la inspección y testeo de las diferentes partes a aplicar tras el subsiguiente pedido y entrega de los componentes de la línea.

2 CONCURSO Y GESTIÓN DEL CONTRATO

2.1 Concurso

2.1.1 Discusiones previas a la presentación al concurso

Se invita a todas las empresas interesadas a contactar con CELLS para discutir los detalles de las presentes especificaciones previamente a la preparación de una oferta. En particular, es deseo expreso de CELLS el asegurarse de que el Adjudicatario entiende completamente los requerimientos e implicaciones de las presentes especificaciones, así como de que no existe ninguna duda acerca de su interpretación. Toda cuestión de naturaleza técnica debe ser dirigida a:

Dr. Agneta Svensson
CONSORCI PER A LA CONSTRUCCIÓ, EQUIPAMENT I
EXPLOTACIÓ DEL LABORATORI DE LLUM SINCROTRÓ
Edifici Cn. Modul C3 Central, Campus UAB
08193 Bellaterra, Barcelona (Spain)
Tel. +34 93 592 43 00 / Fax. +34 93 592 43 01
alba.concursos@cells.es / www.cells.es (o agneta.svensson@cells.es)

En el supuesto de que cualquier cuestión o pregunta sobre los detalles de las presentes especificaciones resultase en una modificación material de las mismas, esta información será distribuida a toda otra empresa que haya expresado su interés de participar en el concurso que aquí concierne.

2.1.2 Evaluación de las propuestas presentadas a concurso.

CELLS evaluará las ofertas recibidas teniendo en consideración el coste, tiempo de entrega, aspectos técnicos de la oferta, el currículum vitae del personal involucrado, los procedimientos aplicados para la aplicación del contrato, su conformidad con los términos de CELLS así como los procedimientos de Control de Calidad aplicados por el Adjudicatario. La evaluación de las ofertas se llevará a cabo de acuerdo con los criterios descritos en el pliego de Condiciones y Términos Administrativos (es decir, el Pliego de Cláusulas Administrativas), que constituye una parte integral de la presente concurso.

2.2 Estándares de CELLS

Los dígitos de referencia de los documentos así como sus fechas de publicación se detallan en la sección 6.7, Tabla 25, página 52 del documento que se pondrá a disposición del Adjudicatario.

3 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS - DISEÑO PRELIMINAR

3.1 General

La línea usará un ondulador en vacío U21.3 como fuente de radiación. La Figura 1 muestra las curvas de flujo (*tuning*) para un espaciado (*gap*) mínimo de 5.5 mm (curva roja) y 7.0 mm (línea discontinua morada).

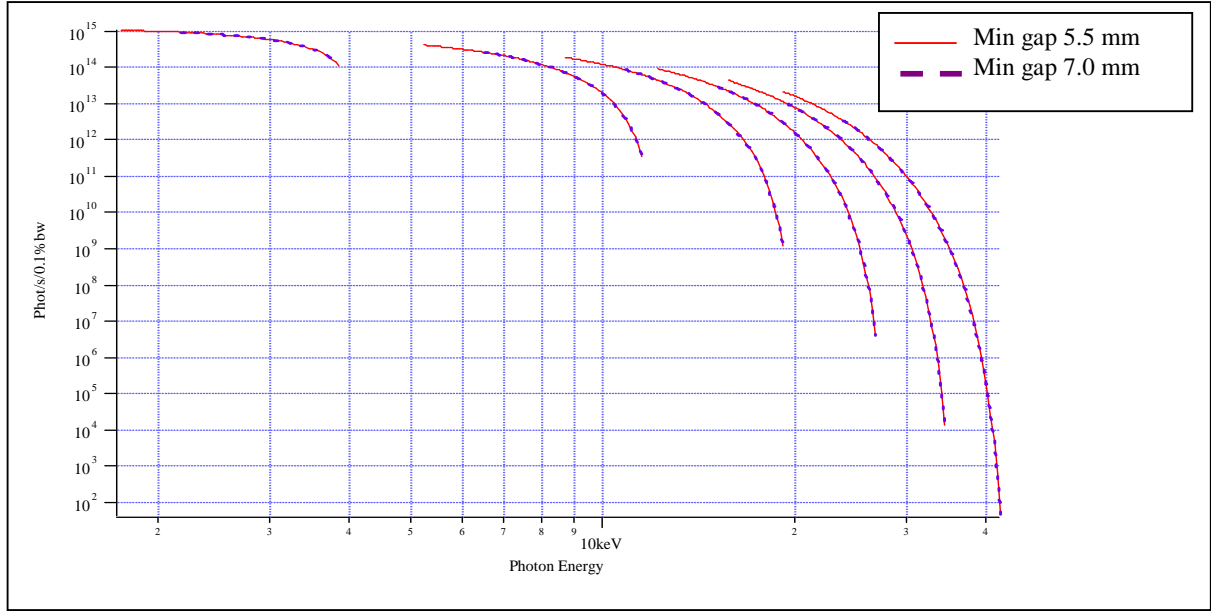


Figura 1: Curvas de selección de energía (*tuning curves*) de un ondulator en vacío U21.3 para un espaciado (*gap*) de 5.5 y de 7.0 mm normalizadas a una intensidad del haz del anillo de almacenamiento de 100 mA. Las curvas fueron calculadas usando SRW [1].

El trazado preliminar de la línea localiza la estación de NCD en el sector 11 del anillo.

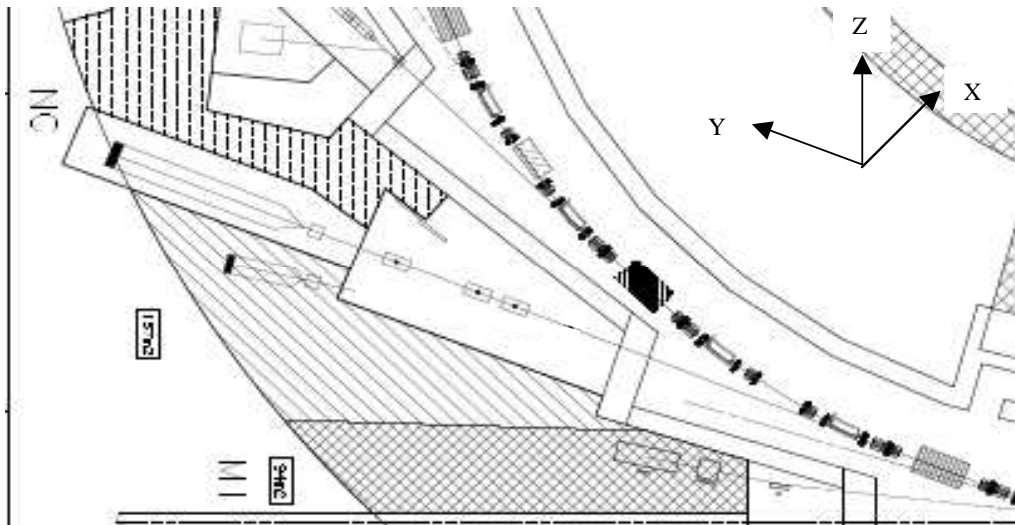


Figura 2. Localización y trazado preliminares de las estaciones de NCD y de μ -foco en relación al ondulator principal.

El trazado óptico escogido tiene el objetivo primordial de obtener un elevado flujo de fotones sobre la muestra. Al mismo tiempo, al combinar un espejo colimador en la dirección vertical con uno toroidal focalizador en el plano horizontal con una demagnificación de 2:1, la disposición de elementos ópticos compensa parcialmente las aberraciones introducidas por los elementos individuales. En consecuencia, se obtiene un área iluminada de pequeñas dimensiones, focalizada y de alta calidad [2]. El esquema óptico escogido está proyectado para ser relativamente simple dada la necesidad de testear la línea y abrirla al uso de la comunidad científica lo antes posible una vez el anillo de almacenamiento entre en funcionamiento. En todo el texto de aquí en adelante, se asume que la altura nominal del haz de fotones respecto a la plataforma de hormigón es de 1400 mm por encima del nivel del suelo. Finalmente, en todos los esquemas se adopta un sistema de coordenadas dextrógiro, donde el eje X apunta hacia el centro del anillo de almacenamiento, el eje Y es colineal con el haz de fotones apuntando hacia el exterior del anillo, y el eje Z es antiparalelo a la dirección de la gravedad. Para la línea, el origen de coordenadas de dicho sistema se sitúa en el centro de la fuente, que en el presente caso es el U21.3 localizado en una sección recta de tamaño medio.

El primer elemento óptico de la línea NCD, el monocromador de cristal doble (DCM), estará emplazado a 22 m del centro del ondulator fuente. Existen diversas ventajas significativas en el hecho de colocar como primer elemento óptico el monocromador de cristal doble. La ventaja primordial es que, de este modo, los elementos ópticos situados a continuación (en el camino óptico del haz de fotones) no requerirán refrigeración criogénica porque el haz será monocromático; es decir, la mayor parte de la carga térmica que genera el haz será absorbida por el(los) filtro(s) en la conexión frontal anillo-línea, o *front end*, el par de ventanas de berilio que actúan como interficie entre la línea óptica y el anillo de almacenamiento y por el monocromador refrigerado criogénicamente. El cono central del haz del ondulator se define en la conexión frontal anillo-línea (antes de entrar en la cabina óptica) por medio de unas rendijas primarias (para haz blanco de alta potencia) horizontales y verticales, refrigeradas con agua [3,4]. Tras salir del monocromador, el haz incide en el primer espejo (constituido por un monocristal de silicio como sustrato, con una capa de rodio, Rh) que actúa como colimador en la dirección vertical. Posteriormente, el haz se focaliza en la dirección horizontal por medio de un espejo toroidal. Adicionalmente, el haz se define en las direcciones vertical y horizontal mediante rendijas a la entrada y salida de cada cámara de los espejos. Por otro lado, en la presente configuración debe reservarse un espacio para el monocromador de reflexión única que refleje horizontalmente el haz dirigiéndolo a la estación contigua de μ -foco cuando esté en funcionamiento. Dicha estación recibirá el haz del U21.3 en modo de usuario único (*single user mode*). Es por ello que debe tenerse en cuenta no sólo el espacio requerido para el monocromador deflectante, sino todo aquél que sea necesario para que el haz viaje sin perturbaciones desde el ondulator hasta el monocromador, sin pérdida de flujo de fotones. Debe hacerse notar que el trazado óptico para la estación de μ -foco no ha sido establecido aún.

El último elemento que atraviesa el haz en la cabina óptica es el compuerta (*beam shutter*) de radiación sincrotrón requerida por el Grupo de Protección y Seguridad Personal (*Personal Safety and Health Physics*) para permitir el acceso del personal de ALBA y usuarios a la cabina de experimentos durante el funcionamiento del anillo de almacenamiento.

Una vez ya en la cabina de experimentos, y justo antes de la posición de la muestra, se encuentra un set de rendijas que definen el haz vertical y horizontalmente. Tras ellas, otro set de rendijas de protección elimina el halo del haz dispersado en los elementos anteriores.

La Tabla 2 muestra la posición propuesta para los elementos ópticos de la línea NCD.

Componente óptico	Distancia desde la fuente [m]
Monocromador de cristal doble	22.0
Espejo plano colimador en la vertical	24.0
Espejo toroidal focalizador en la horizontal	28.0
Plano focal	42.0
Monocromador de reflexión única para la línea de μ -foco	Pendiente de elegir ubicación

Tabla 2: Resumen de las posiciones de los elementos ópticos en la estación NCD

3.2 Cabinas

Debe producirse el diseño conceptual de ingeniería, las especificaciones técnicas y los planos al completo de las cabinas de la estación NCD por donde circule el haz. Se prevé un mínimo de dos cabinas: la cabina óptica y la experimental; y posiblemente una tercera separada para la estación contigua de μ -foco.

3.3 Óptica de rayos X

La óptica escogida para la línea NCD consta de un monocromador de cristal doble (DCM) de Si(111), u opcionalmente un monocromador *channel-cut* Si (111), un espejo colimador y un espejo toroidal.

Con el objetivo de investigar los requerimientos de refrigeración del monocromador, debe realizarse un análisis básico de elementos finitos (FEA) en ambos cristales del DCM o del *channel-cut*. Los cálculos deben hacerse utilizando los siguientes parámetros: un U21.3 como fuente, una intensidad del haz de electrones de 400 mA, para los dos espaciados del ondulator mínimos de 5.5 mm y 7 mm (equivalen a valores de la desviación vertical, K, de 1.61 y 1.3 respectivamente), y una apertura de 190 μ rad (horizontal) x 44 μ rad (vertical); es decir, una transmisión de $4\sigma_x \times 4\sigma_z$ (4.2 x 1 mm²) hacia el primer cristal del monocromador. Estimaciones iniciales indican que una refrigeración indirecta por nitrógeno líquido de los dos cristales del DCM es suficiente si se utilizan una montura adecuada, un diseño óptimo de los circuitos de refrigeración, y por último se corrigen adecuadamente los efectos residuales de la deformación térmica del primer cristal usando los espejos sucesivos.

Véanse los Apéndices 5.1 y 5.2 para los resultados detallados de los estudios de trazado de rayos (*ray tracing*) y la información preliminar a utilizar para evaluar los grosores y materiales a usar en filtros y ventanas

3.4 Espejos

3.4.1 General

Los espejos de la línea NCD proporcionarán colimación en la dirección vertical y focalización en la horizontal. La eliminación de armónicos superiores se lleva a cabo gracias a la capa superficial de ambos espejos. Para el rango de longitudes de onda en el que trabaja la línea, los espejos con capa de Cr y Rh eliminan los armónicos satisfactoriamente y tienen una elevada reflectividad, de un 85% aprox. o mejor. La curva de reflectividad esperada para el Rh se ilustra más adelante en la Figura 3.

Cada espejo deberá incluir un sistema motorizado de posicionamiento que permita ajustes en las direcciones vertical y lateral (en otras palabras, en las direcciones Z y X respectivamente), así como en los tres ejes de rotación llamados *pitch*, *roll* y *yaw*. Estos ejes posibilitarán un alineamiento preciso del elemento óptico. La cámara, el espejo y los sistemas de posicionado deben estar instalados sobre una estructura de elevada estabilidad, preferiblemente una plataforma de granito, con el objetivo de reducir la transmisión de vibraciones mecánicas al espejo. El sistema de posicionado debe incluir la posibilidad de realizar todos los ajustes manualmente para facilitar el alineamiento inicial.

El primer espejo, parabólico y colimador en el plano vertical, se encuentra tras el monocromador, a una distancia aproximada de 24 m de la fuente. Su eje largo está orientado en la dirección del haz de fotones, con la normal a la superficie reflectante en la dirección perpendicular al plano del anillo. El espejo desvía el haz monocromático hacia abajo respecto a su trayectoria inicial (es decir, hacia abajo respecto de la órbita en el anillo de almacenamiento). La posición nominal del centro del espejo es 1380 mm del nivel del suelo, inclinado 4.5 mrad respecto al eje del haz.

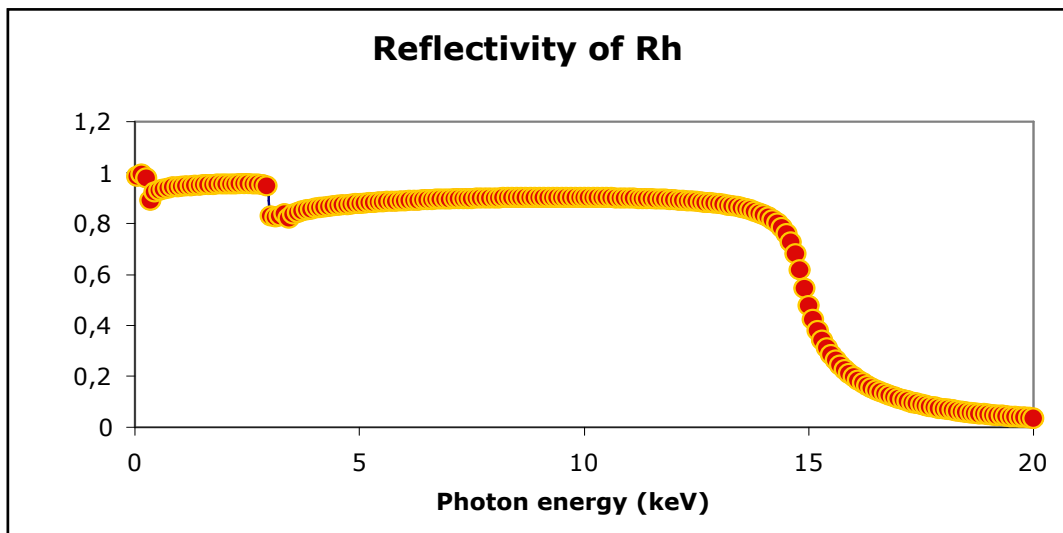


Figura 3. Reflectividad del Rh en el rango de energías de interés, calculada usando los recursos disponibles en http://www-cxro.lbl.gov/optical_constants/

El segundo espejo, un toroidal, focaliza el haz de fotones horizontalmente. Se encuentra a aproximadamente 28 m de la fuente. El punto focal está a 28/2 m del extremo del espejo. Se orienta colocando la superficie reflectante hacia arriba, con la normal a la superficie casi perpendicular al plano del anillo de almacenamiento. De esta manera, se consigue focalizar el haz hacia arriba respecto a su dirección incidente. La posición nominal del centro del espejo toroidal es aproximadamente 1342 mm respecto del nivel del suelo, inclinado 4.5 mrad respecto a la dirección del haz incidente.

La Figura 4 muestra un diagrama donde se define la orientación de los ejes de un espejo que refleja el haz hacia arriba respecto al plano de su superficie.

Cabe tener en cuenta las siguientes convenciones para los movimientos del espejo: siguiendo la dirección y sentidos del haz de fotones incidente, una rotación en sentido horario representa un balanceo (*roll* de aquí en adelante) positivo; una rotación hacia arriba del último extremo un cabeceo (*pitch* de aquí en adelante) positivo; y una rotación del espejo hacia el centro de la máquina representa un *yaw* positivo.

- **Eje X:** eje horizontal perpendicular a la dirección del haz incidente, apuntando hacia el centro del anillo de almacenamiento.
- **Eje Y:** eje horizontal colineal con el haz incidente.
- **Eje Z:** eje vertical perpendicular a la dirección del haz incidente, apuntando hacia arriba.
- **Pitch:** rotación alrededor del eje paralelo al plano del espejo y perpendicular al plano de reflexión.
- **Roll:** rotación alrededor del eje paralelo al plano del espejo y paralelo al plano de reflexión.
- **Yaw:** rotación alrededor del eje perpendicular al plano del espejo y paralelo al plano de reflexión.
- **Rango:** el cambio máximo en posición permitido para uno determinado movimiento, delimitado ya sea por interruptores de límite (*limit switches*) como por topes.
- **Resolución:** Mínimo incremento del recorrido de un movimiento o, en el caso de un encóder, la mínima distancia recorrida medible.
- **Reproducibilidad:** Rango de desviaciones en las posiciones de salida asignado a un solo comando de entrada (sin error) determinado.

Orientación de los ejes para un espejo que refleja el haz hacia

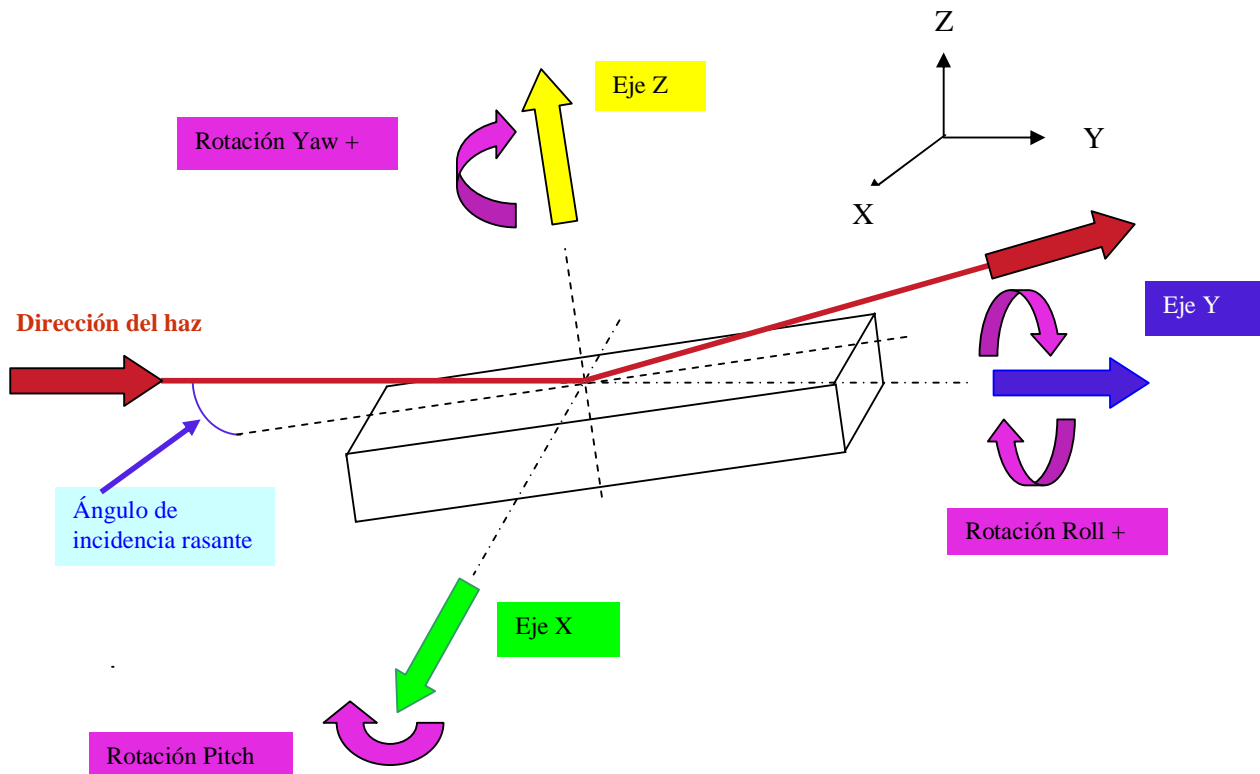


Figura 4: Definición de los ejes y rotaciones de un espejo

Las definiciones para los límites de los motores se darán a su debido tiempo. Es expreso deseo de CELLS el asegurarse de que para todos los motores se siguen idénticas convenciones en las definiciones de sus límites, como por ejemplo el límite de escala completa. Es preferible que los motores paso-a-paso usados sean compatibles con el controlador y servidor Icepap desarrollados originalmente en el ESRF y adaptados como estándares en CELLS.

El sustrato del espejo colimador debería ser un monocristal de silicio con una precisión angular de $\pm 2^\circ$ en la dirección de crecimiento del cristal y con el plano 110 en la dirección del haz incidente. Las dimensiones aproximadas son 460 mm de largo por 65 mm de grueso y 50 mm de ancho. El sustrato debe hacerse crecer y pulir con el objetivo de conseguir una superficie especular reflectante plana. El espejo se encajará en un curvador (*bender*) que interacciona con el sistema por medio de un montaje cinemática de tres puntos. En el caso de que el Adjudicatario considere más adecuadas otras alternativas para el sustrato o las dimensiones del espejo, éstas se tendrán en cuenta.

Por su parte, el sustrato del espejo toroidal debería ser un monocristal de silicio de las siguientes dimensiones aproximadas: 460 mm de largo por 65 mm de grueso y 50 mm de ancho. El sustrato debe hacerse crecer y pulir para obtener una superficie especular

reflectante cilíndrica. Nuevamente, el espejo se encajará en un curvador que interactúa con el sistema por medio de un montaje cinemática de tres puntos. Así mismo, se considerarán otras opciones alternativas para el sustrato y/o las dimensiones del espejo en el caso de que el Adjudicatario vea ventajoso el cambio en las especificaciones.

No se ha considerado necesaria refrigeración alguna para los espejos al ser la carga térmica esperada del orden de unos pocos mW, ya que están expuestos únicamente a haz incidente monocromático. Por otro lado, se considera redundante el instalar una máscara fría en el frontal de cada uno de los espejos. Sin embargo, en el caso de que el Adjudicatario considere que la solución propuesta compromete el rendimiento óptico de los espejos, CELLS discutirá las ventajas de soluciones alternativas.

3.4.2 Tamaño y forma de la superficie reflectante

En el caso del **espejo plano colimador**, la apertura (o área ópticamente activa) debe ser aproximadamente de 240 mm de largo por 30 mm de ancho.

Por otro lado, para el **espejo toroidal**, la apertura (o área activa) debe ser aproximadamente de 240 mm de largo por 10 mm de ancho.

3.4.3 Error en la pendiente (*slop error*)

El error en la pendiente se define como la desviación respecto a la forma nominal para todas las longitudes de onda espaciales comprendidas entre los 3 mm y la longitud de la rendija del espejo. Para el espejo **colimador**, el error sagital en la pendiente debe ser mejor que 1.5 μrad RMS; y el tangencial aproximadamente 0.75 μrad RMS.

Por lo que respecta al espejo **toroidal**, el error sagital en la pendiente debe ser mejor que 100 μrad RMS; y el tangencial mejor que 0.75 μrad RMS. Los errores de pendiente deben calcularse tras la extracción de la esfera óptima de los valores medidos; véanse los datos en el resumen para los espejos colimador y toroidal por separado en las Tablas 3a y 3b respectivamente.

3.4.4 Capa de cobertura de la superficie activa (*coating*)

La superficie activa de ambos espejos debe llevar un baño o cobertura de cromo y rodio a lo largo de toda su longitud. La capa de cromo, de aproximadamente 50 Å de grosor, debe depositarse en la parte superior del monocristal que actúa como sustrato, seguida de la capa de rodio de un grosor aproximado de 600 ± 100 Å, que se depositará sobre la de Cr.

3.4.5 Microrugosidad de la superficie (*micro-roughness*)

La microrugosidad máxima en cualquier punto del área activa de los espejos debe ser mejor que 5 Å RMS (tras el baño de Cr y Rh) dentro de un rango de longitudes de onda espaciales comprendido entre los 3 μm y los 3 mm, medida mediante un microscopio interferométrico de superficies (u otros medios de determinación de la microrugosidad disponibles por el proveedor).

3.4.6 Efectos de arqueamiento debidos a la gravedad (*gravity sag*)

Para el espejo **plano colimador**, el máximo arqueamiento permitido debido a la gravedad es de $\frac{1}{36} \text{ km}^{-1}$.

Para el **espejo toroidal**, es de $\frac{1}{18} \text{ km}^{-1}$.

3.4.7 Carga térmica y dimensiones del haz

La mancha luminosa del haz incidente sobre el espejo colimador tendrá unas dimensiones aproximadas de 240 mm de largo en la dirección meridional por 5.3 mm de ancho en la dirección sagital (es decir, una aceptación de 4σ para el haz en las direcciones tanto longitudinal como lateral). El haz entrará horizontalmente al cámara incidiendo con ángulo rasante de 4.5 mrad sobre la superficie del espejo, encarada hacia abajo. Seguidamente, el haz saldrá del primer espejo para incidir sobre la superficie (encarada hacia arriba) del espejo toroidal, también con ángulo rasante de 4.5 mrad. El área iluminada en la superficie activa del toroidal es de 240 mm de largo por 5.5 mm de ancho en las direcciones meridional y sagital respectivamente (es decir, una aceptación de 4σ para el haz en las direcciones tanto horizontal como vertical). Finalmente, el haz saldrá del segundo espejo a +4.5 mrad en la dirección vertical positiva (hacia arriba). Dado que sobre los espejos sólo incide haz monocromático, la carga térmica esperada en ambos es del orden de unos pocos mW; en consecuencia se considerará negligible. Véase en la Figura 5 el esquema que ilustra el diseño genérico de una línea de luz para rayos X duros con dos espejos y un DCM.

3.4.8 Refrigeración del substrato

Dado que la carga térmica sobre los espejos se considera negligible, no se requiere refrigeración para los mismos. Así mismo, tampoco se ha considerado necesario el uso de una máscara para proteger la cara frontal de los espejos.

Camino óptico vertical (arriba) y horizontal (abajo)

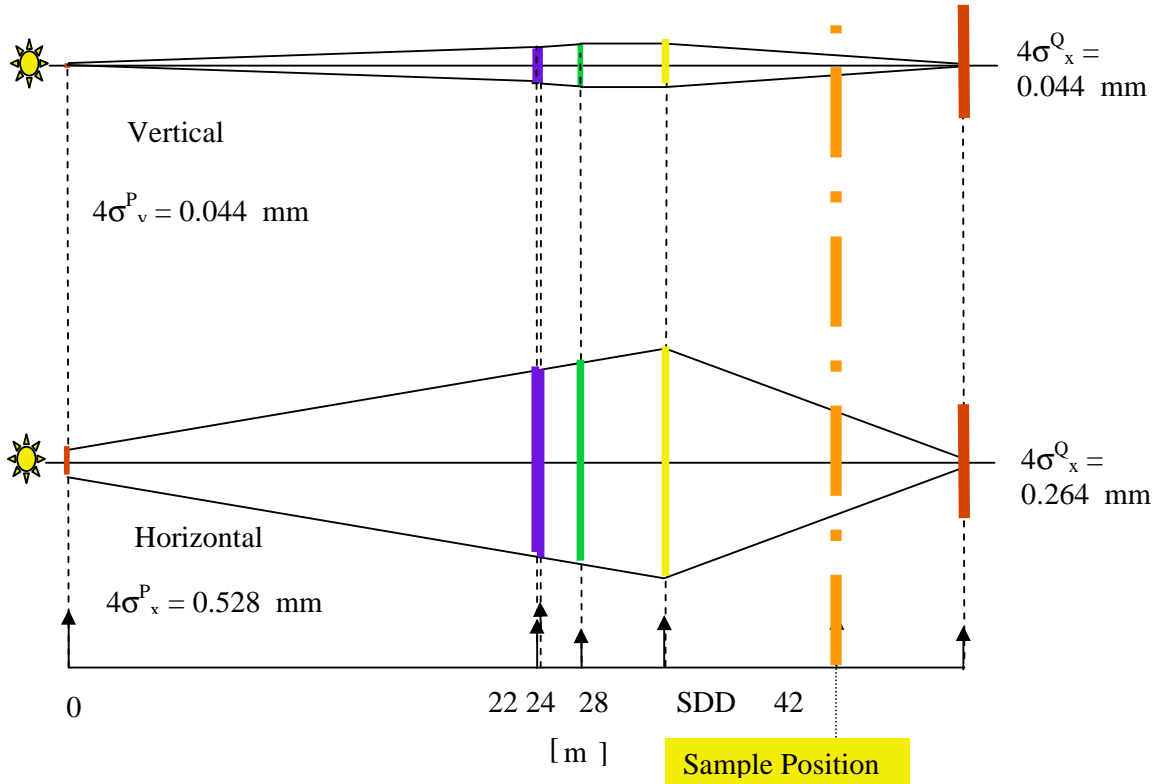


Figura 5. Diseño esquemático de la estación de NCD propuesta para el anillo de almacenamiento de ALBA. El espejo toroidal reduce en la dirección horizontal en una ratio de 2:1. La aceptación de la línea es de $\sigma'_x = 0.047$ mrad horizontalmente y $\sigma'_z = 0.011$ mrad verticalmente. La distancia entre muestra y detector (*simple to detector distance, SDD*) puede variar entre 0.2 m mínimo y 11 m máximo.

3.4.9 Resumen de las especificaciones para los espejos

Resumen de las especificaciones para el espejo colimador

Material del sustrato	Monocristal de silicio
Dimensiones del sustrato (mm ³) (aproximadas)	460 mm largo, 50 mm ancho y 65 mm grueso
Área activa (mm)	240 mm por 30 mm
Altura nominal respecto del nivel del suelo	1380 mm
Orientación	Refleja verticalmente hacia abajo entre -5 y +10 mrad respecto a la posición horizontal

Superficie	Radio de curvatura (parábola plana): 12.3 km
Características del sustrato	Monocristal de Si (para uso como sustrato especular) cortado a +/-2° en la dirección de crecimiento cristalográfico, (220); con el plano (100) en la dirección del camino óptico del haz
Error de pendiente sagital	1.5 μ rad RMS
Error de pendiente tangencial	0.75 μ rad RMS
Aceptancia de entrada	Horizontal: $\sigma_x' = 0.0475$ mrad Vertical: $\sigma_z' = 0.011$ mrad
Divergencia vertical de salida	± 3 μ rad
Capa de cobertura	Rodio sobre cromo
Grosor de la capa de cobertura	50 Å de Cr y 600 ± 100 Å de Rh
Rugosidad	<5Å RMS.
Refrigeración (de considerarse necesaria)	Refrigeración indirecta por agua (de considerarse necesaria)
Arqueamiento debido a efectos gravitatorios	Máxima curvatura permitida $\frac{1}{36}$ km ⁻¹

Tabla 3a. Resumen de las especificaciones del espejo colimador

Resumen de las especificaciones para el espejo toroidal

Material del sustrato	Monocristal de silicio
Dimensiones del sustrato (mm ³) (aproximadas)	460 mm largo, 50 mm ancho y 65 mm grueso
Área activa (mm)	240 mm por 10 mm
Altura nominal respecto del nivel del suelo	1342 mm
Orientación	Refleja hacia arriba entre -5 y +10 mrad respecto a la posición horizontal
Superficie	Radio de curvatura tangencial: R = 6.1 km Radio de curvatura sagital: $\rho = 85.13$ mm

	Radio de curvatura : 4.7 km < R < Infinito
Error de pendiente sagital	30 μ rad RMS
Error de pendiente tangencial	0.75 μ rad RMS
Especificaciones para el espacio de fases de la imagen	Para fotones de 10 keV y superficie cubierta de Rh Perfil del haz en el punto focal: $\sigma_x \times \sigma_z \sim 0.065 \times 0.03 \text{ mm}^2$ Convergencia del haz en el punto focal: $\sigma'_x \times \sigma'_z \sim 0.09 \times 0.02 \text{ mrad}^2$ Distancia muestra-detector: 5 m. Perfil del haz sobre la muestra: $\sigma_x \times \sigma_z \sim 0.47 \times 0.1 \text{ mm}^2$
Forma	El polo del espejo debe estar en el centro del sustrato. Las desviaciones respecto del centro no pueden exceder $\pm 0.2 \text{ mm}$ en la direcci3n sagital y $\pm 5 \text{ mm}$ en la direcci3n tangencial
Capa de cobertura	Cromo y rodio
Grosor de la capa de cobertura	50 Å de Cr y $600 \pm 100 \text{ Å}$ de Rh
Rugosidad	<5 Å RMS.
Refrigeraci3n (de considerarse necesaria)	Refrigeraci3n indirecta por agua (de considerarse necesaria)
Arqueamiento debido a efectos gravitatorios	M3xima curvatura permitida $\frac{1}{18} \text{ km}^{-1}$

Tabla 3b. Resumen de las especificaciones para el espejo toroidal

3.4.10 Especificaciones para el curvador

Tipo	Cil3ndrico
M3ximo radio de curvatura	> 80km
M3nimo radio de curvatura	$\leq 4.7 \text{ km}$
Reproducibilidad	$\pm 2 \text{ metros}$

Tabla 4. Especificaciones para los curvadores.

3.4.11 Compatibilidad con el sistema de vac3o

En la secci3n 4 del presente documento se detallan los requerimientos de CELLS para el vac3o. Brevemente, el objetivo es obtener una presi3n final de $< 1 \times 10^{-9} \text{ mbar}$ sin haz y un nivel de fugas $< 1 \times 10^{-9} \text{ mbar litro sec}^{-1}$. Los espejos trabajan en r3gimen de vac3o ultra alto, UHV, de manera que el conjunto no puede contener materiales que no sean

compatibles con una atmósfera de UHV. Cada espejo y su correspondiente cámara deben soportar un proceso de *baking* por encima de los 200 °C durante 24 h, y el posterior enfriamiento hasta alcanzar temperatura ambiente; todo ello manteniendo su forma, características y rendimiento al completo. Así mismo, los componentes deben ser apropiados como para operar con haz las 24 h del día. Por último, cabe destacar que los cámaras deben disponer de una ventana en la parte superior que permita la inserción y manipulación de los espejos desde arriba.

3.4.12 Movimientos de los espejos

Los espejos deben montarse en sendas cámaras de vacío ultra alto (UHV) sobre estructuras ajustables. Para cada uno de ellos, los ángulos de *pitch*, *roll* y *yaw* así como las translaciones en el eje vertical (Z) y lateral (X) han de poder ser ajustados remotamente. Así mismo, debe tenerse en cuenta que las estructuras de soporte deben asegurarse al suelo adecuadamente e incluir controles para el ajuste manual de los cinco grados de libertad anteriormente mencionados para el alineamiento inicial. Cabe remarcar que, con el objetivo de evitar la transmisión de vibraciones mecánicas a los elementos ópticos, es deseable que las cámaras estén fijadas a estructuras de granito, y ésta a su vez instalada sobre un montaje cinemática de tres puntos. La entrada y salida de los tubos de vacío se realizará mediante fuelles para dotar de flexibilidad al sistema frente a los movimientos requeridos.

3.4.13 Especificaciones sobre el posicionado de los espejos

Los espejos deben ser posicionados en la línea y fijados al suelo. Para asegurar que la posición y altura finales corresponden a los valores nominales, deben hacerse las medidas y ajustes de posicionado manualmente. El pie de los soportes deberá ser fijado al suelo para asegurar el sistema.

La altura respecto del nivel del suelo del área activa del espejo colimador es de $Z=1380$ mm. Se espera que trabaje en régimen de incidencia rasante (ángulo de 4.5 mrad respecto el haz incidente). Por su parte, la altura nominal del área activa del toroidal es $Z=1342$ mm respecto el nivel del suelo. Así mismo, operará en incidencia rasante con un ángulo de 4.5 mrad.

Respecto al posicionado manual, se requiere un rango de ± 5 mm para los ajustes en la dirección vertical, permitiendo así el posicionado nominal del sistema del espejo respecto a los movimientos de *roll* (R_y), *pitch* (R_x) y altura (T_z) así como variaciones eventuales en el nivel del suelo. Para el ajuste horizontal, se precisa un rango de ± 5 mm para el posicionado nominal en los movimientos de *yaw* (R_z), lateral (T_x) y longitudinal (T_y).

La altura y posición del polo central de los espejos vendrá en relación a las marcas fiduciales externas del sistema con una precisión de ± 0.1 mm

Cabe notar que, muy probablemente, los ajustes de *roll* y *yaw* no serán necesarios para el espejo colimador.

3.4.14 Especificaciones referentes al movimiento de los espejos

Una vez fijado en su posición el sistema del espejo, deberá ser posible el ajuste fino motorizado de la posición del mecanismo primario dentro de la cámara de vacío. De esta manera puede procederse al alineado del espejo respecto al resto de elementos de la línea. Todos los mecanismos deberán estar equipados con encoders e interruptores de límite.

3.4.15 Movimiento vertical

El movimiento total será de ± 5.0 mm con una resolución mejor que $5 \mu\text{m}$ y una reproducibilidad mejor que $10 \mu\text{m}$. El mecanismo deberá estar equipado con encoders e interruptores de límite.

3.4.16 Movimiento lateral horizontal

El movimiento total será de ± 5.0 mm con una resolución mejor que $5 \mu\text{m}$ y una reproducibilidad mejor que $10 \mu\text{m}$. El mecanismo deberá estar equipado con encoders e interruptores de límite.

3.4.17 Ajuste del *pitch*

El movimiento total del espejo colimador estará comprendido en el rango de $+ 3.0$ mrad hasta $- 10.0$ mrad desde la posición horizontal. Para el espejo toroidal, el rango absoluto será $- 5.0$ mrad hasta $+ 10.0$ mrad. La resolución de los movimientos será mejor que $5.0 \mu\text{rad}$ y la reproducibilidad mejor de $10.0 \mu\text{rad}$. Todos los mecanismos deberán estar equipados con encoders e interruptores de límite.

3.4.18 Ajuste del *yaw*

El rango absoluto del movimiento será ± 20 mrad respecto a la posición central. La resolución será mejor que $1.0 \mu\text{rad}$ y la reproducibilidad superior a $5.0 \mu\text{rad}$. Todos los mecanismos deberán estar equipados con encoders e interruptores de límite.

3.4.19 Ajuste del *roll*

El rango absoluto del movimiento será ± 20 mrad respecto a la posición horizontal. La resolución será mejor que $10.0 \mu\text{rad}$ y la reproducibilidad superior a $1.0 \mu\text{rad}$. Todos los mecanismos deberán estar equipados con encóders e interruptores de límite.

Todos los movimientos y límites especificados se detallan a continuación en la Tabla 5.

Movimiento	Parámetro	Especificaciones
<u>Pitch</u> (Rotación respecto al eje X) Desde la posición horizontal Válido para ambos espejos	Mecanismo	Encóders e interruptores de límite a ajustar
	Rango	± 5 mrad hasta ± 10 mrad
	Resolución	$< 5 \mu\text{rad}$
	Reproducibilidad	$< 10 \mu\text{rad}$
<u>Roll</u> (Rotación respecto al eje Y) Desde la posición horizontal Válido para ambos espejos	Mecanismo	Encóders e interruptores de límite a ajustar
	Rango	± 20 mrad
	Resolución	$< 10 \mu\text{rad}$
	Reproducibilidad	$< 1 \mu\text{rad}$
<u>Yaw</u> (Rotación respecto al eje Z) Desde la posición paralela al haz	Mecanismo	Encóders e interruptores de límite a ajustar
	Rango	± 20 mrad
	Resolución	$\pm 1 \mu\text{rad}$
	Reproducibilidad	$< 5 \mu\text{rad}$
<u>Vertical (Dirección Z)</u>	Mecanismo	Encóders e interruptores de límite a ajustar
	Rango	± 5.0 mm
	Resolución	$< 5 \mu\text{m}$
	Reproducibilidad	$< 10 \mu\text{m}$
<u>Lateral (Dirección X)</u>	Mecanismo	Encóders e interruptores de límite a ajustar
	Rango	± 5.0 mm
	Resolución	$< 5 \mu\text{m}$
	Reproducibilidad	$< 10 \mu\text{m}$

Tabla 5: Movimientos requeridos de los espejos

3.4.20 Motores

Durante la revisión del diseño de los sistemas de espejos, CELLS discutirá las opciones posibles para la elección de los motores. Las especificaciones técnicas de los motores paso-a-paso de CELLS son las que se detallan a continuación: todos los motores serán paso-a-paso bifásicos y operarán con 0.5 y 6 A de corriente a una potencia máxima de 340 W.

3.4.21 Estructuras de soporte

El espejo y demás mecanismos asociados estarán soportados por una plataforma estable. CELLS manifiesta su preferencia en el uso de plataformas de granito a estos efectos. Sin embargo, si el Adjudicatario lo cree conveniente, se discutirán las ventajas de soluciones alternativas a la aquí mencionada. En el supuesto de que se presente una alternativa, CELLS querría así mismo disponer de una caracterización detallada de la plataforma propuesta en aspectos referentes a sus propiedades térmicas, estabilidad mecánica, susceptibilidad a la propagación de vibraciones mecánicas, etc...

3.4.22 Acceso

El acceso preferente a los espejos será desde el **lado izquierdo** del sistema, mirando desde la fuente de fotones hacia el plano focal. Todos los componentes de la línea se instalarán/retirarán desde este lado, o bien se desplazarán mediante grúas desde el techo de la cabina.

3.4.23 Anillas para elevación

Las anillas de elevación así como las barras asociadas deben ser suministradas con el sistema. Todos estos elementos deberán cumplir los estándares internacionales y de la CE. Todo elemento debe ser testeado apropiadamente con el objetivo de marcar un límite de seguridad para su uso. CELLS requiere que todo elemento esté documentado y suministrará a tales efectos un código alfanumérico para añadir dicha información a una base de datos (actualmente en proceso de creación en CELLS).

3.4.24 Tabla de dimensiones de la cámara de vacío/sistema de los espejos

Sistema del espejo colimador

Anchura total (de la cámara principal)	Máximo 1000 mm
Máxima altura total (desde el nivel del suelo)	1800 mm cerrado
Longitud total – a lo largo del haz (desde el borde de entrada al de salida)	Máximo 1000 mm
Altura nominal del haz (desde el suelo al centro al centro del Conflat de entrada del haz)	1380 mm

Tabla 6: Cámara de vacío y sistema del espejo colimador

Sistema del espejo toroidal

Anchura total (de la cámara principal)	Máximo 1000 mm (cámara principal)
Máxima altura total (desde el nivel del suelo)	1800 mm cerrado
Longitud total – a lo largo del haz (desde el borde de entrada al de salida)	Máximo 1000 mm
Altura nominal del haz (desde el suelo al centro al centro del Conflat de entrada del haz)	1342 mm

Tabla 7: Cámara de vacío y sistema del espejo vertical

3.4.25 Requerimientos para los puertos y las bridas de las cámaras

Adicionalmente a los puertos necesarios para acceder al espejo, para el sistema mecánico, de refrigeración y pasamuros eléctrico, se requieren los siguientes puertos (Tabla 8) en la cámara. La posición exacta de dichos puertos se discutirá durante la fase de diseño y se aprobará por CELLS.

3.4.26 Tabla de los puertos y bridas requeridos para cada una de las dos cámaras

Uso	Localización	Tamaño (OD)	Cantidad
Entrada del haz	Puerto de entrada del haz en el extremo 1	NW63 CF	1
Salida del haz	Puerto de salida del haz en el extremo 2	NW63 CF	1
Bomba iónica	Bajos de la cámara	NW63 CF	1
Inspección visual de la superficie del espejo	Centrado sobre el espejo	NW63 CF	1
Comprobación del alineamiento	Lado externo de la cámara, extremos del espejo	NW63 CF	2
Puerto extra	Lado izquierdo de la cámara	NW63 CF	1
Puerto extra	Lado izquierdo de la cámara	NW63 CF	2
Puerto extra	Lado izquierdo de la cámara	NW63 CF	1
Ventilación y gases	Lado externo de la cámara	NW63 CF	1

Lector de vacío	Base	NW35CF	1
-----------------	------	--------	---

Tabla 8: Puertos requeridos en las cámaras de vacío de los espejos

Debe remarcarse que la Tabla 8 contiene únicamente una primera tentativa de las especificaciones para los puertos y las bridas de las cámaras. Sin embargo, se requiere que todas las bridas sean compatibles con los estándares de Varian.

3.4.27 Pasamuros eléctricos

Los pasamuros eléctricos del sistema consistirán en una serie lógica de conectores *plug-in*, compatibles con UHV y el proceso de *baking*. Todos ellos deberán estar claramente marcados de acuerdo a su función. Los correspondientes cables (fuera dlla cámara) se etiquetarán adecuadamente para identificar la procedencia de cada uno de ellos. Por otro lado, es deseable disponer de espacio en el lado izquierdo para el pasamuros de dos termopares de tipo K. Los tipos de cables estándares se detallan en la tabla 9 a continuación.

Tipo de conector
Señal: conector hembra 50 Ohms BNC
Señal: conector hembra Lemo series 00 o SMA
Señal de alta densidad: conector de abrazadera
Señal triaxial: Triax BNC
Alto voltaje: conector SHV
Conector multipin: a acordar con CELLS
Sensor de temperatura: Termopar tipo K con conector ‘miniatura’ o Pt100 (PRTs)
Conector para cable de motor ‘twisted pair’: MIL-C-26482 compatible con 14-12 pin hembra.
Video: conector hembra 75 Ohm BNC
Interficie de control: ¹⁾ TCP/IP over Ethernet, ²⁾ RS-232 / RS-422, ³⁾ GPIB
Encóders: CELLS prefiere encoders incrementales
Piezo actuador: Se ruega contactar con CELLS para verificar si el actuador escogido es compatible con los controladores adoptados por CELLS
Elementos neumáticos: válvulas de control que operen con 24 V DC
Toma a tierra: Todos los conectores deberán instalarse en paneles metálicos

Tabla 9. Conectores estándar usados en CELLS

3.4.28 Curvadores

El tipo de curvadores propuestos en el presente documento se basan en los usados en los espejos de rayos X curvados elípticamente tal y como se describe en la referencia [5].

3.5 Monocromador de rayos X

3.5.1 Requerimientos generales del monocromador de cristal doble (o DCM)

La línea NCD del sector 11 de ALBA requerirá de un DCM de offset vertical fijo igual a 20 mm y configurado de manera que el haz monocromático pueda “recorrer” la superficie del segundo cristal. En la configuración descrita, el primer cristal desviará el haz hacia abajo, mientras que la superficie difractante del segundo cristal estará encarada hacia arriba. Ambos cristales serán cristales planos de Si (111) con idénticas dimensiones medias de 100 mm de largo x 50 mm de ancho x 50 mm de grosor.

El primer cristal del DCM precisa de refrigeración criogénica para disipar la elevada carga térmica a la que está expuesto en ser el primer elemento óptico donde incide el haz blanco [6, 7]. La refrigeración se efectuará indirectamente enfriando los laterales del soporte del cristal. Por otro lado, se precisa de una lámina metálica (de plata en nuestro caso) que, acoplada al soporte del primer cristal, actúa como pantalla protectora de la dispersión Compton. La lámina tiene una ranura en el centro de 5 mm de anchura que permite el paso del haz monocromático difractado hacia el segundo cristal. La pantalla de dispersión Compton se estabiliza térmicamente alrededor de los 190 K cuando está expuesta al haz blanco dado que está en contacto con los soportes refrigeradores del primer cristal. Por último, cabe añadir que, al estar la pantalla a corta distancia de la superficie del cristal, la radiación que consigue escapar es muy poca.

Así mismo, el segundo cristal también debe ser refrigerado criogénicamente para mantener la estabilidad térmica requerida. La carga térmica que recibirá se espera sea superior a 10 W.

Soporte del cristal

Se sugiere el implementar un soporte para los cristales basado en un concepto propuesto por CELLS en el que los soportes se refrigeran mediante nitrógeno líquido (LN_2). Antes de adoptar este diseño de forma definitiva, el adjudicatario evaluará su viabilidad, p.e. por medio de estudios de elementos finitos o cualquier otro tipo de estudio que se considere necesario, de manera que basándose en los resultados CELLS pueda decidir adoptar el diseño o rechazarlo por no ser práctico. En este diseño, cada cristal se mantiene comprimido entre dos bloques de molibdeno enfriados criogénicamente. Los bloques mantienen la presión mediante unas láminas flexibles fijadas con tornillos de aleación de titanio para aligerar el stress durante la expansión térmica. El contacto térmico entre las caras del cristal de silicio y los bloques de molibdeno se consigue mediante una fina lámina de indio depositada sobre las superficies de contacto del Mo [6, 7]. Adicionalmente, se utiliza un brazo de Invar36 para sostener los bloques de Mo por debajo del cristal. El ensamblaje mecánico de los bloques y el brazo incluye así mismo una conexión que contraresta las distorsiones

mecánicas introducidas por la carga térmica en el primer cristal. De este modo, cualquier tensión o distorsión en el primer cristal puede contarse dada la anchura escogida del cristal. Se espera que el conjunto pueda disipar cargas térmicas de más de 150 W aproximadamente. CELLS espera que el diseño actual del soporte para el cristal se optimizará para los valores de la carga térmica, densidad de potencia y dimensiones del cristal especificados en el presente documento. El rendimiento del conjunto debe ser óptimo para una intensidad del haz del anillo de almacenamiento de 400 mA. Por último, reseñar que deben llevarse a cabo estudios completos de análisis de elementos finitos (FEA) para verificar el rendimiento del soporte.

Cabe notar que el segundo cristal se refrigerará mediante tubos flexibles de acero inoxidable que suministrarán un pequeño flujo de 0.2 l/min de LN₂ al soporte del cristal [véase así mismo la referencia 8].

Tipo de soporte	De abrazadera lateral con dos bloques de molibdeno con capa de níquel (<i>Ni-plated</i>) refrigerados con LN ₂
Número de cristales	2
Interficie cristal - soporte	Lámina de indio
Ajustes para el posicionado	Ninguno
Longitud x Altura x Grosor	1 ^o cristal 100 x 50 x 40 mm ³ 2 ^o cristal 100 x 50 x 10 mm ³
Brazo del soporte	Invar36
Tamaño del tubo de refrigeración para ambos cristales	1/4" y 3/8"
Juntas para los tubos de acero inoxidable de refrigeración de ambos cristales	VCR

Tabla 10: Especificaciones para el soporte del cristal

El centro de rotación de Bragg en el conjunto del DCM está localizado en la intersección de la normal a la superficie del primer cristal con la línea paralela a la superficie del segundo cristal (véase la Figura 6 más adelante). El centro de rotación está a una distancia $h/2$ por debajo del primer cristal (donde h es el offset vertical entre ambos cristales en la configuración de “*bounce-down*”). Por lo que respecta al segundo cristal, éste permanece paralelo al primero. El haz blanco incidente impacta en el centro de la superficie del primer cristal. Es de este modo que el haz puede “recorrer” la superficie del segundo cristal en función de los parámetros de la reflexión.

La energía del haz debe seleccionarse rotando ambos cristales; asegurando en todo momento que los dos permanecen paralelos durante el cambio del ángulo de Bragg (θ_B). Para la estación NCD, los valores del ángulo de Bragg están comprendidos en el rango de $\theta_B \sim 8.85^\circ$ ($h\nu = 13$ keV) hasta $\theta_B \sim 17.80^\circ$ ($h\nu = 6.5$ keV).

Dado que en la configuración escogida la superficie del segundo cristal está encarada hacia arriba, el offset vertical absoluto es por debajo de la altura nominal del haz (1400 mm). La translación sobre el eje Y_2 que sufre el haz de salida dados el offset vertical fijo h y un ángulo de Bragg θ_{Bragg} puede calcularse a partir de la siguiente relación:

$$Y_2 = \frac{h}{\tan(\theta_{Bragg})}$$

Así pues, la translación aproximada para el haz a lo largo de la dirección Y_2 entre los dos ángulos de Bragg extremos considerados $\theta_{\min} = 8.8^\circ$ a $\theta_{\max} = 17.8^\circ$ (para el offset $h = 20$ mm) es:

$$\Delta Y_2 = 66.9 \text{ mm.}$$

Esto corresponde a un cambio de energía (E_{\min} hasta E_{\max}) de 6.5 keV.

Es altamente probable que la longitud del segundo cristal pueda ser la misma que la del primero, o como máximo un 20% mayor, es decir, ~ 120 mm de largo. Este supuesto debe ser verificado por el Adjudicatario.

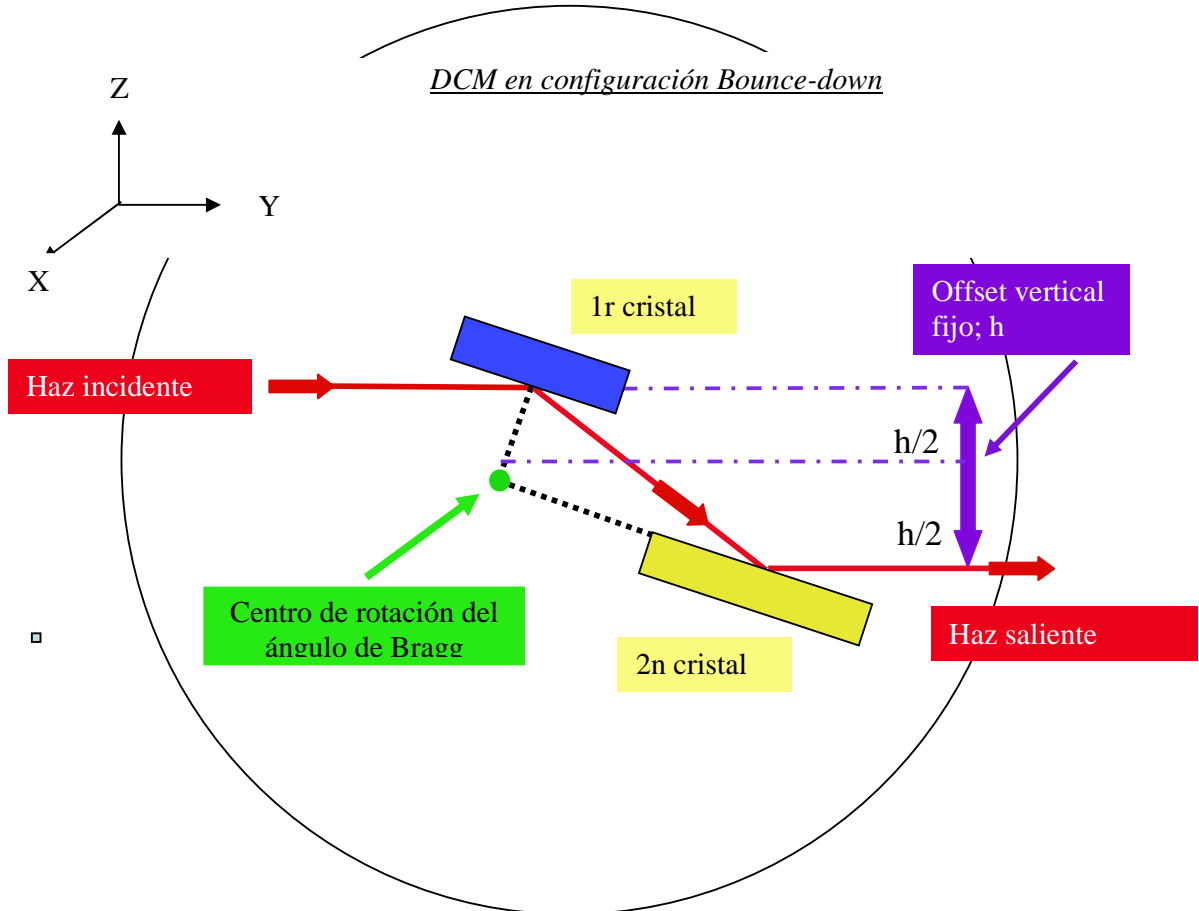


Figura 6. Esquema de la configuración de un monocromador de cristal doble de salida fija con un eje de rotación del ángulo de Bragg común a ambos cristales. Dicho eje se sitúa en la intersección de la normal a la superficie del primer cristal con una línea extendida paralela a la superficie del segundo cristal.

A NOTAR: En el momento de decidir el diámetro/longitud de la cámara de vacío del monocromador, los parámetros a tener en cuenta en primera instancia son la translación total en Y_2 y el rango de ángulos de Bragg que se usarán.

NO puede ser posible que el haz blanco pueda transmitirse al resto de la línea de luz cuando el primer espejo no esté situado en el camino óptico del haz incidente. Es por ello que debe incorporarse a la cámara de vacío del monocromador un absorbente de calor para el haz blanco. Dicho obturador estático (*beam stop*) se colocará en la brida de salida del haz de la cámara de vacío. Consistirá en un soporte conteniendo un bloque de cobre (refrigerado con agua), con su superficie inclinada respecto a la dirección de propagación del haz. Las dimensiones finales del obturador estático aún están pendientes de aprobación por parte de CELLS y se definirán conclusivamente en la revisión del diseño; pero en todo caso serán de al menos 15 mm (horizontal) x 10 mm (vertical), asumiendo que los fotones dentro de una apertura de $4\sigma_x \times 4\sigma_z$ se transmiten a lo largo de todo el sistema óptico hasta este punto.

La pantalla para la radiación Compton protegerá también a los mecanismos del monocromador frente a la dispersión del haz blanco proveniente del primer cristal. La pantalla *podría* consistir en láminas de plata de aproximadamente 1 mm de grosor (0.5 – 2mm), dispuestas horizontal y verticalmente y conectadas entre sí y con los bloques de soporte del cristal, permitiendo en todo caso el paso del haz monocromático hacia el segundo cristal. CELLS discutirá con el Adjudicatario la solución óptima para el dispositivo.

Con el objetivo de reducir los posibles daños en el caso de que el haz directo de manera accidental no esté dirigido correctamente, puede ser conveniente el instalar una máscara para el haz blanco (refrigerada con agua) en la brida de entrada de la cámara de vacío. Así mismo, esta máscara debe proteger el sistema en el caso de que el haz no incida con la dirección adecuada sobre la superficie difractante activa.

La descripción del DCM puede simplificarse considerando los siguientes tres subsistemas principales siguientes:

- Mecanismo primario y sistema de soporte: Provee de un sistema rígido de soporte para la cámara del cristal, el eje de rotación de Bragg, así como todos los controles requeridos para ajustar correctamente la altura e inclinación del mecanismo primario respecto del haz.
- Contenedor del cristal: Alojará el set de cristales y proveerá de ajustes precisos para ambos cristales.

- Sistema de vacío: Consiste en la cámara que encierra el contenedor de los cristales, su soporte y los diversos pasamuros eléctricos, de refrigeración y mecánicos asociados al contenedor de los cristales.

3.5.2 Definiciones y referencias

El diagrama de la Figura 7 muestra la relación entre los diversos grados de libertad con respecto a la propagación del haz que se refieren a lo largo de las presentes especificaciones. Debe notarse que el esquema ilustra un DCM en la configuración de “*bounce down*” dado que ésta es la opción preferida por CELLS. La combinación de ajustes mecánicos del primer y segundo cristal, del mecanismo primario, del sistema de soporte y de la cámara de vacío lleva a obtener los grados de libertad especificados.

En las tablas que sumarizan los movimientos a lo largo de todo el presente documento se aplican las siguientes definiciones:

- **‘X’:** X está en la dirección a lo largo de la superficie de los cristales y está situado en el plano positivo de difracción, en dirección radial apuntando hacia el centro del anillo de almacenamiento.
- **‘Y’:** Y está en la dirección paralela al haz incidente, alejándose del anillo de almacenamiento
- **‘Z’:** Z es paralelo a la normal a la superficie positiva de los cristales, apuntando hacia arriba en la vertical
- ***Pitch:*** Se define positivo para una rotación hacia abajo alrededor del eje X
- ***Roll:*** Se define positivo para una rotación en el sentido del reloj alrededor de la dirección del haz, el eje Y
- ***Yaw:*** Se define positive para una rotación hacia en centro de la máquina alrededor del eje Z
- **Rango:** el cambio máximo en posición permitido para uno determinado movimiento, delimitado ya sea por interruptores de límite como por topes.
- **Resolución:** Mínimo incremento del recorrido de un movimiento o, en el caso de un encóder, la mínima distancia recorrida medible.
- **Precisión:** La máxima diferencia entre el cambio de posición ordenado por el actuador y el realmente ejecutado por los dispositivos mecánicos para cualquier movimiento dentro de un rango específico. La precisión absoluta se refiere a la precisión en todo el rango al completo del movimiento.

- **Reproducibilidad:** La mayor diferencia entre la posición original y la posición a la que la mecánica retorna tras cualquier ciclo de movimientos dentro del rango, retornando desde idéntica dirección a la de la posición original.
- **Pasos perdidos:** La mayor diferencia entre la posición original y la posición a la que la mecánica retorna tras cualquier ciclo de movimientos dentro del rango, retornando desde la dirección opuesta a la de la posición original.
- **Estabilidad:** La mayor desviación respecto a la posición especificada durante un tiempo dado.

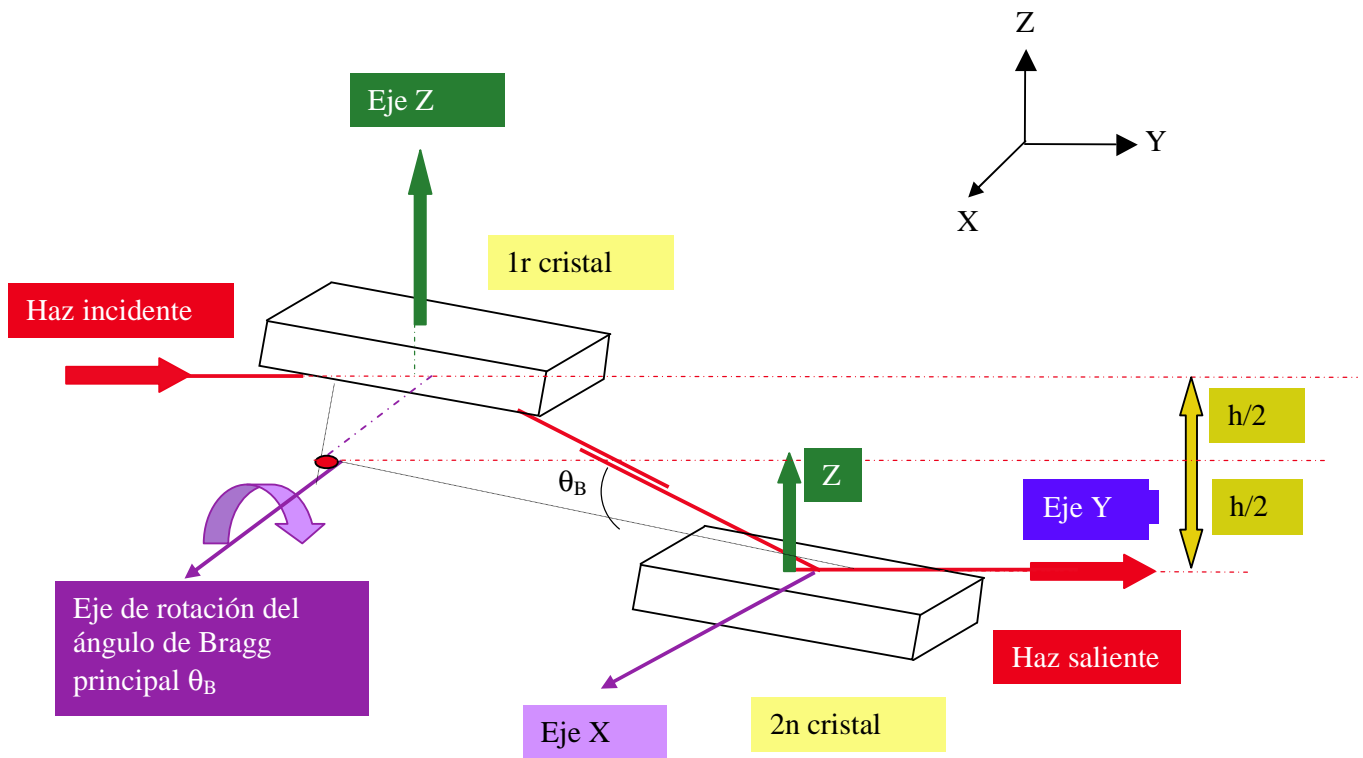


Figura 7. Definiciones de los ejes de un sistema de referencia dextrógiro para un monocromador DCM en configuración de "bounce down".

Se requiere que el monocromador trabaje en un rango de longitudes de onda que cubre aproximadamente desde los 2 Å hasta los 0.9 Å. Además, se pide que la resolución angular goniométrica para el ángulo de Bragg sea de $\Delta\theta = 14.0 \mu\text{rad}$, donde la precisión en el ángulo viene dada por la relación siguiente:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta \theta}{\tan(\theta)}$$

Así pues, una precisión de 2.9 segundos de arco (14 μ rad) debería ser adecuada para nuestras necesidades. Sin embargo, CELLS querría discutir esta especificación con el Adjudicatario con el objetivo de asegurar que se cubren todos los posibles requerimientos. Para lograr la precisión especificada, deberá utilizarse un encóder para el control del feedback de la rotación del goniómetro, con una resolución del paso de aproximadamente unos 0.18 segundos de arco.

3.5.3 Requerimientos detallados del diseño

3.5.3.1 Mecanismo primario y sistema de soporte

El montaje del mecanismo para la plataforma rotatoria de los cristales debe ser extremadamente rígido con el objetivo de minimizar los efectos de cualquier error (inducido por el giro, torsión o la gravedad por ejemplo) en el posicionado de los cristales a lo largo de todo el rango de Bragg usado. El DCM debe poder no sólo trabajar en el rango de ángulos de Bragg adecuado para conseguir las energías indicadas en la Tabla 1, sino que también es necesario un rango rotacional más amplio para su puesta a punto y alineamiento. Un valor del ángulo de Bragg igual a 0 corresponde a la situación en la que el primer cristal es paralelo al plano horizontal. El centro de rotación coincide con el eje de rotación del ángulo de Bragg, localizado en la intersección entre la normal a la superficie del primer cristal y una línea extendida que descansa sobre la superficie del segundo. La plataforma de rotación está situada sobre un brazo de goniómetro e incluirá las conexiones del sistema de refrigeración, monitores de temperatura y ajustes mecánicos tanto finos como más burdos. Todos estos componentes deben escogerse de manera que optimicen la estabilidad térmica y mecánica del sistema así como la flexibilidad para realizar ajustes fácilmente. La plataforma de rotación es común a los contenedores de ambos cristales.

El mecanismo primario debe encajarse en un encóder rotatorio de alta precisión (posiblemente, en vacío) situado lo más próximo posible a los cristales para obtener el feedback de la rotación del ángulo de Bragg óptimo. Los puntos referenciales (*datum referentes*) deben poder obtenerse fácilmente dentro de todo el rango de trabajo del monocromador.

En consecuencia, el sistema de control deberá proveer de control *closed loop* a la rotación del ángulo de Bragg tal y como se especifica en la Tabla 11.

El conjunto del DCM al completo se montará sobre un sistema de soporte totalmente ajustable. Por motivos de estabilidad, CELLS se inclina por un bloque de granito (natural o sintético) como soporte donde montar la cámara del monocromador. En cualquier caso, deberá ser posible realizar ajustes manuales en la posición de la cámara del monocromador una vez instalada en la línea.

En la Tabla 11 se detallan los ajustes posicionales, así como las reproducibilidad y precisión requeridas para cada uno de ellos, necesarios para alinear adecuadamente el conjunto del monocromador de manera remota.

Mecanismo primario	Parámetro	Valor(es)
Ángulo de Bragg (θ)	Rango de energía	6.5– 13 keV (Usando cristales de Si 111)
	Rango rotacional total	-5° a 40°
	Resolución en la rotación en θ	1 segundo de arco con 0.1 segundos de arco/paso
	Ajuste grueso en θ	$\pm 1^\circ$
	Ajuste fino en θ	± 20 segundos de arco
	Error radial	$< 5 \mu\text{m}$
	Oscilación axial	< 0.5 segundos de arco
	Resolución	0.1 segundos de arco
	Precisión	1.8 segundos de arco
	Reproducibilidad	0.18 segundos de arco
	<i>Backlash</i>	< 3 segundos de arco
Rango de velocidades	Mayor de $1^\circ / \text{segundo}$	
Sistema de soporte	Parámetro	Valor(es)
Altura del haz	Altura del haz blanco incidente	1400 mm.
	Altura del haz saliente	1380 mm
Ajuste de la altura (Z)	Translación del tanque al completo en todo el rango	± 25 mm
Resolución en la altura (Z)	Motor paso-a-paso vertical	100 μm con 0.11 $\mu\text{m}/\text{paso}$
Ajuste lateral (X)	Translación del tanque al completo en todo el rango	± 25 mm
Resolución lateral (X)	Motor paso-a-paso horizontal	100 μm con 0.5 $\mu\text{m}/\text{paso}$
Ajuste longitudinal (Y)	Rango	50 mm (± 25 mm)
Ajuste manual del <i>Roll</i>	Rango	$1^\circ (\pm 0.25^\circ)$ ajustable
Ajuste manual del <i>Pitch</i>	Rango	$1^\circ (\pm 0.25^\circ)$ ajustable
Ajuste manual del <i>Yaw</i>	Rango	$1^\circ (\pm 0.25^\circ)$ ajustable

Tabla 11: Ajustes para el soporte y el control de movimientos del DCM

3.5.4 Contenedor para los cristales del DCM

El contenedor debe actuar como soporte para ambos cristales, teniendo en cuenta que se precisa un offset vertical fijo de 20 mm hacia abajo entre la posición del haz saliente y el entrante; véase el resumen de las especificaciones para la cámara en la Tabla 12. Se requiere un diseño adecuado para optimizar el acceso al contenedor durante su instalación, puesta a punto y mantenimiento una vez se haya roto el vacío. Por ejemplo, será de considerable ayuda durante la colocación y puesta a punto la posibilidad de utilizar un nivel para los ajustes manuales.

Para todas las translaciones en vacío de los cristales y la plataforma se utilizarán motores paso-a-paso bifásicos, compatibles con condiciones de UHV, delimitados por topes adecuados, interruptores de límite e interruptores de puntos referenciales. Se precisan actuadores piezoeléctricos (aptos para aplicaciones en vacío alto) combinados con los controladores, cables e interfaces adecuados. Todos los movimientos en vacío deben ir asociados a encoders compatibles con UHV adecuados.

Los materiales usados en la construcción del contenedor de los cristales deben ser aptos para su uso en UHV. Además, todos los hilos y cableado localizados en la zona en vacío deben estar aislados mediante Kapton. Finalmente, los conectores tendrán un baño de oro.

Primer cristal	Parámetro	Valor(es)
Ajuste manual perpendicular (Z)	Rango	1 mm
	Resolución	5 μm
Ajuste motorizado de <i>Roll</i>	Rango	2° ($\pm 1^\circ$)
	Resolución	0.005 °
Segundo cristal	Parámetro	Valor(es)
Translación motorizada perpendicular (Z)	Rango	2 mm (para mantener fijo el offset)
	Resolución	< 5 μm
	Reproducibilidad	< 5 μm
Ajuste fino motorizado del <i>Pitch</i> del 2n eje	Rango	0.015° ($\pm 0.007^\circ$)
	Resolución	<0.2 segundos de arco
	Reproducibilidad	<0.2 segundos de arco
Ajuste fino motorizado del <i>Pitch</i>	Rango	2° ($\pm 1^\circ$)
	Resolución	0.01°
Ajuste fino motorizado del <i>Roll</i>	Rango	2° ($\pm 1^\circ$)
	Resolución	0.01°

Tabla 12: Ajustes en el posicionamiento del contenedor de los cristales

3.5.6 Cristales, monturas y refrigeración

3.5.6.1 Especificaciones para los cristales

Las especificaciones requeridas para ambos cristales del DCM se detallan en la Tabla 13.

Material	Mínima área óptica	Precisión en la orientación	Pendiente de la superficie difractante	Rugosidad de la superficie difractante
Si(111)	A acordar	$\pm 0.02^\circ$ ($\pm 0.05^\circ$)	$< 10 \mu\text{m}$	0.5 – 1 nm

Tabla 13: Especificaciones para los cristales de Si (111)

Las caras difractantes deben ser cortadas, pulidas y tratadas al ácido para dar una curva de reflectividad de FWHM igual a 0.2 segundos de arco o $0.97 \mu\text{rad}$.

3.5.6.2 Refrigeración de los cristales

La carga térmica máxima que soportará el primer cristal es de unos 100 W, correspondiente a la situación en la que el espaciado (*gap*) mínimo del ondulator U21.3 sea 5.5 mm y la intensidad del haz del anillo de 400 mA. Inicialmente, ALBA operará con un espaciado mínimo del ondulator de 7 mm. En consecuencia, se requiere refrigeración criogénica para el primer cristal. Además, es deseo expreso de CELLS que el segundo cristal también tenga criorefrigeración para asegurar que las variaciones térmicas entre los dos cristales son mínimas en todo momento. Para el ensamblaje mecánico propuesto del DCM, incluyendo la configuración de los circuitos de refrigeración criogénica, se espera que la constante de tiempo térmica del primer cristal sea menor de 20 segundos mientras que la del segundo de un máximo de 10 minutos.

Se requiere que el Adjudicatario presente los resultados de un estudio completo de FEA que demuestre si el esquema de refrigeración propuesto es suficiente para mantener el primer cristal a 77 K (en ausencia de haz) y a 100 K (en presencia del haz). Posteriormente, los cálculos detallados deberán ser enviados a CELLS quien los aprobará, si procede, en la reunión de revisión del diseño (*Design review meeting*).

El segundo cristal precisa así mismo de criorefrigeración via una conexión térmica al circuito de refrigeración principal.

El sistema de refrigeración no debe inducir ningún tipo de vibración, stress o tensión mecánicos a los cristales en todo su rango de movimientos.

Dado que los cristales están refrigerados criogénicamente, puede utilizarse juntas vacío-refrigerante. Sin embargo, los detalles sobre las juntas propuestas deben presentarse a CELLS para aprobación previa.

3.5.6.3 Montura de los cristales

El soporte o montura de los cristales debe retenerlos sin inducir ningún stress o tensión a las superficies difractantes. CELLS entregará un diseño conceptual para la montura de los cristales al Adjudicatario. Nuevamente, dicho diseño conceptual debe ser evaluado por medio de un Análisis de Elementos Finitos con el objetivo de determinar si es adecuado como para disipar la carga térmica depositada en los cristales sin causar por ello ningún stress o tensión a los cristales mismos (particularmente, al primero de ellos).

3.5.6.4 Termopares

Los dos cristales deben ir equipados con termopares de tipo K cubiertos de Kapton para controlar su temperatura. Se instalarán por medio de un puerto ICF70. Se requiere monitorizar la temperatura en el interior de la cámara de vacío en todo momento durante el uso de la línea. En su debido momento CELLS proporcionará información referente al tipo preferido de conectores para los termopares.

3.5.6.5 Pantalla para la dispersión Compton

Tal y como se detalla en la sección 3.5.1, se precisa de una pantalla adecuada de protección frente a la dispersión Compton, a instalar principalmente en el primer cristal. De esta manera se evitan los efectos térmicos impredecibles sobre los componentes del contenedor de los cristales que vendrían inducidos por la radiación dispersada. El nivel máximo de radiación para la cámara del monocromador debería ser $< 2-3$ krad.

3.5.6.6 Sistema de vacío

El sistema de vacío diseñado debe incluir los siguientes elementos:

- Cámara de vacío y puerta/tapa
- Bombas de vacío, lectores, y controladores
- Obturador estático (*beam stop*)
- Pasamuros para nitrógeno líquido y agua
- Pasamuros eléctricos
- Pasamuros para los termopares
- Puertos para visualización
- Cojinetes lineales y de arco de alta precisión compatibles con vacío

3.5.6.7 Cámara de vacío y puerta/tapa

La puerta/tapa principal deberá cerrarse por medio de un anillo Viton ‘O’ y ser fácilmente movable para facilitar el acceso al contenedor de los cristales.

La cámara debe diseñarse y fabricarse de acuerdo con las prácticas y métodos de UHV, y debe ser testeada para comprobar posibles fugas como un sistema completo (es decir, con el contenedor para los cristales y los pasamuros de refrigeración insertados).

La tasa total de filtraciones no será mayor de 5×10^{-9} mbar.litro. La presión de trabajo del sistema es del orden de los 1×10^{-7} mbar o mejor, con lo que se precisa una bomba iónica con una velocidad aproximada de 500 litros/segundo. En el meeting de revisión del diseño se discutirá la posibilidad de conectar a la cámara una bomba turbomolecular en funcionamiento permanente.

Adicionalmente a todos los puertos necesarios para los pasamuros mecánicos, eléctricos y de refrigeración, se requieren también los puertos descritos en la Tabla 14. Su posición exacta se discutirá durante la fase de diseño y se aprobará por CELLS.

Uso	Localización aproximada	Tamaño requerido	Cantidad
Entrada del haz	Centrada en el haz	NW 63 CF	1
Salida del haz	25mm por debajo de la entrada	NW 63? CF Rotación	1
Salida del haz	Brida ciega para la salida del haz directo	NW 63 CF	1
Bomba iónica	Parte inferior de la cámara	NW 63? CF Rotación	1
Puertos de visualización	1 en el centro de rotación, el resto en la mejor posición para observar el segundo cristal a largo de todo el rango de movimientos posible	NW 63 CF	4
Miscelánea	Distribuidos por la cámara	NW 63 CF	10

Tabla 14: Puertos de acceso de la cámara de vacío del monocromador

Todos los cierres de los puertos deberán ser metálicos (excepto aquellos que dispongan de cierres con movimiento rotatorio) y el cierre de la puerta principal debe ser de Viton. Entre el cierre magnético y el brazo del eje principal se usarán dos anillos ‘O’ de Viton. CELLS está dispuesto a discutir la solución presentada con el objetivo de optimizarla. Por último, señalar que los puertos de visualización deben ser de cuarzo.

3.5.6.8 Obturador estático (*beam stop*)

Se debe instalar un obturador estático de cobre y tungsteno refrigerado con agua en la salida de la cámara del monocromador, como prevención ante posibles daños a la cámara producidos por un funcionamiento deficiente del contenedor de los cristales o

una mala alineación del haz. CELLS debe decidir aún las dimensiones totales del obturador estático, véase el punto 3.6.1. No se permiten juntas de agua a vacío. Además, el grado del tungsteno utilizado para el obturador estático debe ser compatible con vacío ultra alto. Finalmente, la máxima presión del agua refrigerante permitida es 5 bar.

3.5.6.9 Pasamuros de refrigeración

Las líneas criorefrigerantes deben penetrar y salir de la cámara de vacío idealmente a través del eje de rotación, para minimizar de este modo cualquier carga potencial sobre los cristales a lo largo de todo su rango de rotación. El diseño deberá incluir el aislamiento térmico adecuado para las líneas de refrigeración del montaje principal. Se propone una presión máxima del criorefrigerante de 9 bar, aunque dicho valor debe ser definido finalmente por el Adjudicatario. Es preferible que todas las abrazaderas y elementos de fijación sean no metálicos (considerando su conductancia térmica más baja).

3.5.6.10 Compatibilidad con el vacío y el *baking*

Todos los elementos localizados en el interior de la cámara de vacío del monocromador deben ser compatibles con UHV. Sin embargo, estos mismos componentes así como la cámara misma **NO** son compatibles con los procesos de *baking*

3.5.6.11 Pasamuros eléctricos

Los pasamuros eléctricos del contenedor de los cristales deberán consistir en una serie lógica de conectores *plug-in* compatibles con UHV. Todos estarán claramente etiquetados según su función, así como sus cables al aire (fuera de la cámara) correspondientes; asegurando que en todo momento la relación entre los conectores en vacío y los de fuera es absolutamente clara para todos ellos.

3.6 Diagnóstico del haz de fotones

El diagnóstico constituirá una parte integral de la línea. La monitorización de la *posición e intensidad* del haz de fotones a la entrada y salida de los elementos ópticos principales asegura un diagnóstico, rápido y fácil, de fallos de primer orden en la línea. Se demanda al Adjudicatario que sugiera una serie de elementos de diagnóstico para instalar a lo largo de la cabina óptica, además de una metodología para su uso. CELLS adjuntará un documento (actualmente en desarrollo) que define los estándares propuestos para ALBA en esta área. Se da preferencia a los sistemas que pueden estar permanentemente en el punto de medida y funcionando todo el tiempo por encima de

otros que deben reubicarse previo a su utilización. Todos los componentes del diagnóstico, incluidos los monitores del haz, los monitores térmicos, etc, deberán integrarse finalmente en el sistema de control basado en Tango.

3.7 Ventanas de berilio y filtros

Como separador del vacío entre la conexión frontal anillo-línea (*front end*) y la cabina óptica, se requiere un par de ventanas de berilio, de 400 μm y 250 μm respectivamente, combinadas con filtros CVD (o de otro material adecuado) de grosores de 400 y 200 μm aproximadamente (véase 6.2. El Adjudicatario dispondrá de una copia de dicho documento.). Como alternativa a la combinación de ventanas de Be + filtros CVD, se propone el uso de ventanas CVD de diamante, tal y como se describe en *Biasci et al.*, [4]. Los grosores aquí citados son únicamente provisionales y precisan redefinirse con el objetivo de optimizar el rendimiento total de la línea. Se requerirán estudios de FEA para determinar el grosor y el tipo de material a utilizar, teniendo en cuenta la carga térmica, los requerimientos de refrigeración la separación entre las ventanas, el flujo de agua refrigerante, etc. No se puede olvidar que es de extrema importancia el transmitir en todo momento el máximo flujo de fotones posible desde la fuente hasta la posición de la muestra. Además, el vacío de la la conexión frontal anillo-línea (*front end*) se protegerá también mediante el uso de un analizador de gas residual y una válvula de vacío rápida localizada entre las dos ventanas de berilio de la cabina óptica. El estado del sistema de refrigeración por agua estará ligado al sistema de control de la la conexión frontal anillo-línea (*front end*) para asegurar de este modo que no inciden rayos X sobre la ventana cuando el circuito/flujo de refrigeración no está en funcionamiento. La potencia del haz blanco absorbida por la ventana de berilio es aproximadamente 100 W o menos, con una densidad de potencia máxima de $\leq 50 \text{ W/mm}^2$.

Por su parte, para aislar la línea de vacío del ambiente de muestra en la cabina de experimentos, se utiliza una ventana de mica (u otro material adecuado). El grosor de la ventana de mica es aproximadamente de 0.25 mm con un diámetro efectivo de ~ 10 mm. Es poco probable que se requiera refrigeración para esta ventana puesto que la carga térmica del haz monocromático es muy baja. La ventana de mica actuará como ventana final de la estación experimental, entre el tubo de vacío y la estación de la muestra. Su localización variará entre los $\sim 31 - 41.8$ m respecto a la fuente, siempre en la cabina de experimentos. La apertura máxima se ha definido en la conexión frontal anillo-línea (*front end*) como $4\sigma_x \times 4\sigma_z$ μrad por la aceptación, de manera que la línea sólo recibe luz procedente del cono central de radiación del U21.3. Se requerirán cálculos que demuestren la capacidad de la ventana de proteger los niveles de vacío establecidos. Adicionalmente, se demandarán procedimientos de testeo de la presión de las ventanas. Finalmente, el Adjudicatario deberá presentar sugerencias

sobre el ensamblaje mecánico/funcional de las ventanas durante la revisión del diseño (en el *Design review Stage*).

3.8 Rendijas primarias para el haz blanco

Se requiere un set de rendijas primarias verticales y horizontales para el haz blanco (refrigeradas con agua) a situar en la conexión frontal anillo-línea (*front end*) antes de la cabina óptica. Se posicionarán frente a la cámara del monocromador a aproximadamente 15-17 m de la fuente. Se precisan para definir el perfil del haz en los planos tanto vertical como horizontal con elevada precisión y reproducibilidad. CELLS establecerá en su debido momento las dimensiones precisas de las rendijas así como sus requerimientos de refrigeración al completo (tasas de flujo de agua, presión del agua, estabilidad mecánica, rendimiento calorífico,...); una vez definidos su localización y las dimensiones y materiales de los filtros y ventanas situados delante. Estas rendijas, con capacidad de disipar altas potencias térmicas, se basan en un diseño del ESRF [3,4]. En el presente concurso, el Adjudicatario debe incorporar un diseño preliminar de las rendijas primarias basado en el diseño suministrado por CELLS. De este modo, puede ser optimizado y refinado y pueden desarrollarse unas especificaciones técnicas detalladas para la revisión del diseño (*Design Review*).

3.9 Rendijas para el haz monocromático

3.9.1 General

Se propone insertar sets de rendijas para haz monocromático (no refrigeradas) delante de cada espejo para definir el haz en los planos vertical y horizontal en cada punto. Se pide al Adjudicatario que haga observaciones y comentarios referentes a los requerimientos de dichas rendijas. Por el momento, las especificaciones para las rendijas monocromáticas son las que se detallan a continuación en la Tabla 15:

Rendijas	Información
Apertura	En preparación
Resolución de la apertura	< 3 μm
Paralelismo de la apertura	< 10 μm
Recorrido	Cada hoja 40 mm
Material de la hoja	Tungsteno o <i>tungsten carbide</i>
Grosor de la hoja	Típicamente 3 mm
Brida de montaje	Brida Conflat de diámetro exterior ~ 200 mm
Control y software	Servidor y controlador de motor Icepap. Lenguaje de control Tango

Tabla 15. Especificaciones de las rendijas

3.9.2 Rendijas montadas a pares

En los puntos en los que existen limitaciones de espacio será necesario instalar dos unidades de rendijas en el mismo soporte o brida. Las dos hojas que actúan en la misma dirección se montarán sobre una única brida Conflat fija. Se requiere que ambas se superpongan en su posición ‘máxima’ o límite, de manera que deberán estar en planos ligeramente desplazados (pero paralelos) y centradas respecto al eje de la brida. Estos requerimientos son válidos tanto para la unidad horizontal como la vertical.

3.9.3 Requerimientos específicos (horizontal)

Las rendijas estarán expuestas únicamente al haz monocromático, con lo que no requerirán refrigeración. Las rendijas horizontales están montadas horizontalmente sobre bridas Conflat NW100CF y el conjunto encaja en un tubo de vacío de 95 mm de diámetro. Cada una de las hojas debe tener un recorrido de 40 mm y un tamaño de 40 mm de ancho por 10 mm de alto. CELLS debe acordar estas dimensiones todavía.

3.9.4 Requerimientos específicos (vertical)

Las rendijas estarán expuestas únicamente al haz monocromático, con lo que no requerirán refrigeración. Las rendijas verticales están montadas verticalmente sobre bridas Conflat NW100CF y el conjunto encaja en un tubo de vacío de 95 mm de diámetro. Cada una de las hojas debe tener un recorrido de 40 mm con un tamaño de 10 mm de ancho por 40 mm de alto. CELLS debe acordar estas dimensiones todavía.

3.9.5 Parámetros para los mecanismos de las rendijas

3.9.5.1 Las especificaciones para del encóder de una hoja se muestran en la Tabla 16.

Resolución	Precisión	Encóder	Tipo de motor
<5 μ m	\pm 5 μ m	Sin preferencias	Paso-a-paso (baja intensidad de corriente)

Tabla 16. Especificaciones para el encóder

3.9.5.2 La orientación de las bridas fijas debe ser ‘off centre’ en relación al plano vertical y horizontal de la unidad.

3.9.5.3 Excepto si se establece lo contrario, cada una de las hojas de una rendija exterior debe ser controlada independientemente por un motor paso-a-paso externo al vacío.

3.9.5.4 El error máximo en el paralelismo de los bordes activos de cada par de hojas a lo largo de todo su recorrido en cualquier dirección debe ser inferior a 10 μm y la resolución debe ser mejor que 5 μm por paso.

3.9.5.5 CELLS o sus representantes autorizados aprobarán, en su momento, los planos y esquemas de la disposición general. Dicha aprobación no exime al Adjudicatario de sus responsabilidades adquiridas en el contrato.

3.9.5 Interruptores de límite

Cada uno de los actuadores debe incluir dos interruptores de límite para demarcar las dos posiciones extremas para cada hoja. Los interruptores de límite deben estar instalados en el exterior y ser ajustables manualmente. Los contactos deben ser NC (*normally closed*). Toda información referente a los interruptores propuestos se presentará a CELLS para su debida aprobación. Una escala visual externa debería indicar la posición de las hojas con precisión de 0.5 mm. Finalmente, el soporte para los conectores de los interruptores de límite debe ser diseñado por el Adjudicatario (CELLS proporcionará los detalles de los conectores).

3.9.6 Motores

Para el movimiento de las rendijas, se utilizarán motores paso-a-paso (acordes a las especificaciones) con una resolución de 400 pasos por revolución. El Adjudicatario deberá diseñar los soportes para los conectores de cables del encóder.

3.9.7 Hojas

La anchura y altura de las hojas requeridas se ha detallado anteriormente en las secciones 3.8.4 y 3.8.5. El resto de dimensiones se define en la Tabla 17:

Especificaciones de las hojas	
Grosor	3 +/- 0.5 mm
Rectitud del borde colindante con el haz	10 μm
Ángulo del borde colindante con el haz	3°

Tabla 17. Especificaciones de las hojas

El borde colindante con el haz de tener una rectitud de 10 μm y no puede presentar defectos visuales como astillas o grietas.

3.9.8 Montaje al encóder

Cada una de las hojas de las rendijas estará directamente ligada a un encóder adecuado. El mecanismo de la rendija debe, por lo tanto, disponer de superficies y fijaciones aptas para su debido montaje. CELLS evaluará los detalles propuestos en la revisión del diseño (*Design Review*).

3.10 Compuerta de radiación sincrotrón (*beam shutter*)

Todas las compuertas o obturadores dinámicos para las líneas deben diseñarse de acuerdo con los requerimientos definidos por CELLS. Las especificaciones para el grosor de los materiales del bloque obturador y las placas de apertura se definen en los planos proporcionados por CELLS. El control del obturador de fotones deberá, en su debido momento, integrarse en el sistema de seguridad del personal (PSS, o *Personnel Safety System*) de ALBA. Sólo podrá activarse mediante dos licencias suministradas por el PSS. El diseño detallado se acordará en el *Design Review*.

Las compuertas de la línea son componentes críticos en el PSS de CELLS. Su fiabilidad es una condición esencial. Se espera que los obturadores operen unas 50 veces por día durante toda la vida del elemento. La compuerta debe estar equipada con 4 *switches* del PSS, tal y como viene definido por CELLS, que no pueden ser usados para indicar el estado del obturador (excepto via el sistema PSS). En el caso de que se requieran otras indicaciones del status del elemento, deberá equiparse con los dispositivos de monitorización adecuados a parte.

Los conectores para el cableado de los interruptores del PSS y del actuador de la compuerta deben ser especificados de acuerdo con CELLS.

Así mismo, se requiere una evaluación formal del diseño que incluya los siguientes aspectos:

- HAZOP, FMEA o similar
- Vida media del dispositivo
- Predicciones de fiabilidad
- Probabilidad de “fallo ante el peligro”

La interfície del control de la compuerta debe activarse por medio de dos licencias suministradas por el PSS. El diseño detallado se acordará en la fase del *Design Review*.

3.11 Pies de soporte, tubos de vacío, fuelles

Todos los soportes deben disponer de suficiente libertad de movimientos como para permitir el ajuste durante el ensamblaje en todas las direcciones X, Y, Z. Siempre que sea posible, los fuelles deben ser de tipo preformado, sin soldaduras.

3.12 Posicionamiento

El método preferente de alineación es transferir una línea referencial por medio de un orificio directamente desde el anillo de almacenamiento hacia fuera y alinear la línea de luz respecto a este *datum*. La referencia para la altura también debe proceder del anillo.

Se requiere al Adjudicatario que incluya en el diseño de ingeniería suficientes elementos de posicionamiento, fiduciales, como para definir la posición 3D de cada componente de un modo adaptado a los procedimientos usados por el Grupo de Posicionamiento y Alineación de CELLS (*CELLS Survey and Alignment Group*). A continuación se detalla la opción preferente a tener en cuenta para las referencias del posicionado/alineamiento:

- El alineamiento de los componentes de la línea se realizará usando un dispositivo de medida de coordenadas móviles, un Laser Tracker.
- La cabina estará equipada con diferentes puntos de referencia mientras que cada uno de los componentes (como el monocromador, cámaras de los espejos, cámaras de las rendijas,...) dispondrán de varios agujeros de referencia estándares. El Adjudicatario posicionará dichos agujeros con una precisión de 0.1 mm para todos los componentes, de manera que posteriormente los puntos referenciales de la línea puedan usarse para definir el alineamiento óptico de todas las cámaras de vacío de los elementos ópticos.

Debe notarse que el acceso a todos los componentes de la cabina óptica se realiza desde el *lado izquierdo* en la dirección tangencial del anillo, mirando hacia afuera.

En la entrega de la documentación se requiere así mismo un resumen de la propuesta para los procedimientos de posicionado y alineación. Los detalles finales se discutirán y acordarán por parte del Adjudicatario y del Grupo de Posicionamiento y Alineación de CELLS durante el *Design Review*.

CELLS prefiere tener también puntos fiduciales a lo largo de una línea paralela al camino óptico del haz pero desplazada horizontalmente, de manera que sea siempre posible usar niveles y teodolitos incluso una vez el equipamiento esté instalado. Dichos puntos deberán tener un espaciado aproximado de medio metro. Esto permitirá así mismo marcar una línea sobre el suelo en la dirección de dichos fiduciales que abre la opción de usar un teodolito para verificaciones rápidas.

3.13 Interruptores de límite

Cada actuador debe incluir dos interruptores de límite para definir los extremos de cada uno de los movimientos. Siempre que sea posible es conveniente que sean ajustables manualmente y que estén montados en el exterior. Los contactos deben ser NC. En todos los casos posibles, debe incluirse una escala visual externa que indique la posición con una precisión de 0.5 mm. Finalmente, el soporte para los conectores de los interruptores de límite debe ser diseñado por el Adjudicatario (CELLS proporcionará los detalles de los conectores).

3.14 Motores

CELLS ha escogido como estándar los motores paso-a-paso bifásicos que operen entre 0.5 – 6 Amperios y 340 W.

3.15 Encoders

Todos los ejes de tracción de los motores deben estar conectados a encoders. La información referente al modelo de encoder propuesto se enviará a CELLS para su visto bueno y aprobación. En principio, CELLS no tiene preferencias en la elección del encoder y se responsabiliza únicamente de la interficie del mismo con el sistema de control local de ALBA.

3.16 Recambios

El tiempo de inactividad en una instalación sincrotrón debe minimizarse todo lo que sea viable. Por ello se demanda al Adjudicatario que presente en el diseño propuesto una lista de elementos que constituya “una cesta de recambios estándar fácilmente disponibles”.

3.17 VACÍO

Se requiere al Adjudicatario el seguimiento de los procedimientos para vacío descritos en los borradores de los documentos incluidos siguientes: “Normas para el vacío en las líneas de CELLS” (*‘CELLS Beam Line Vacuum Policy’*), documento CS059512.pdf; y “Documentación para el Control de Calidad del Sistema de Vacío del Proyecto CELLS” (*‘Quality Control Documentation for the Vacuum System of the CELLS Project’*), resumido en RR_CAS_Cleaning.pdf. Los dígitos de referencia y las fechas de publicación de dichos documentos se detallan en la sección 6.7, página 25. Todas las especificaciones listadas en dichos documentos y tablas se pondrán a disposición del Adjudicatario.

3.18 Información general sobre vacío

El sistema de vacío de la estación óptica puede dividirse lógicamente en las siguientes 5 regiones:

Región 1: desde el borde de salida de la válvula de vacío tras la pared de protección (*shield wall*) del anillo, a 20 m, hasta el par de ventanas de berilio delante del monocromador, a 21 m. La elección preferente es una *bomba iónica mini*.

Región 2: desde la ventana de vacío delante de la cámara del monocromador, a 21 m, hasta la válvula de vacío inmediatamente posterior a la cámara del monocromador, a ~23 m. Se sugiere el uso de una *bomba turbomolecular*.

Región 3: desde la válvula de vacío tras el monocromador, 23 m, hasta la válvula de vacío tras el espejo colimador, a ~25 m. Se sugiere instalar una *bomba iónica*.

Región 4: desde la válvula de vacío tras el espejo colimador, ~25 m, hasta la válvula de vacío tras el espejo toroidal, a 29 m. Se sugiere instalar una *bomba iónica*.

Región 5: desde la válvula de vacío tras el espejo toroidal hasta la ventana de mica a ~31 – 41.5 m. Se sugiere utilizar una *bomba turbomolecular*.

El bombeo in-situ se conseguirá por medio de bombas iónicas en las regiones 1 a 5, colocadas bajo los cámaras de los espejos en las regiones 3 y 4, y en tubos adaptados en el resto (regiones 1,2 y 5). En la región 1, se precisará de un sistema de bombeo sin aceite, que puede ser una bomba iónica o cualquier otro que sugiera el Adjudicatario. Adicionalmente, se requieren válvulas en ángulo recto para poder acoplar bombas adicionales cuando y cómo sea necesario. Las medidas de presión se realizarán mediante dispositivos de Pirani para el rango de 30 mbar hasta 1×10^{-3} mbar y dispositivos Inverted Magnetron para 1×10^{-3} mbar hasta 1×10^{-10} mbar; véase la Tabla 18.

	PRESIÓN	LIMPIEZA
Región 1* Desde la válvula de vacío tras la pared de protección (<i>shield wall</i>), ~ 20 m, hasta la entrada de la cámara del monocromador, ~ 21 m.	Mejor que 1×10^{-7} mbar	Presión parcial del hidrocarbano mejor que 1×10^{-8} mbar
Región 2 Desde la ventana de previa a la entrada del monocromador a la válvula posterior a la cámara del monocromador 'Sistema del monocromador'	Mejor que 1×10^{-7} mbar	Presión parcial del hidrocarbano mejor que 1×10^{-8} mbar. Presión parcial del agua mejor que 1×10^{-8} mbar.
Región 3 Sistema del espejo colimador 'M1'	Mejor que 1×10^{-8} mbar	Presión parcial del hidrocarbano mejor que 1×10^{-10} mbar
Región 4 Sistema del espejo toroidal 'M2'	Mejor que 1×10^{-8} mbar	Presión parcial del hidrocarbano mejor que 1×10^{-10} mbar
Región 5 Desde la válvula del espejo toroidal a la ventana de berilio/mica	Mejor que 1×10^{-5} mbar	Presión parcial del hidrocarbano/gases nobles mejor que 1×10^{-10} mbar

final		
-------	--	--

Tabla 18: Presiones de vacío requeridas

4 GESTIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD

4.1 GENERAL

4.1.1 El Adjudicatario debe mantener y aplicar un **Control de Calidad (QA) sujeto a la norma ISO 9001** para el diseño de todos los sistemas.

4.1.2 El Adjudicatario deberá asegurar que **todos los Sub-Adjudicatarios aplican una norma QA similar** y deberá tomar las acciones necesarias para garantizar la calidad de las entregas de los Sub-Adjudicatarios.

5 REFERENCIAS

- [1] D. Bertwistle, “*Conceptual Magnetic Design Report for a 21.3 mm Period In-Vacuum Pure Permanent Magnet Undulator*”, 2005.
- [2] A.A. MacDowell, R.S. Celestre, M. Howells, W. McKinney, J. Krupnick, D. Cambie, E.E. Domning, R.M. Duarte, N. Kelez, D.W. Plate, C.W. Cork, T.N. Earnest, J. Dickert, G. Meigs, C. Ralston, J.M. Holton, T. Alber, J.M. Berger, D.A. Agard and H.A. Padmore, *J. Synch. Rad.*, **11**, 447-455, 2004.
- [3] P. Marion, Y. Dabin, P. Theveneau and L. Zhang, MEDSI02, Sept 5-6, p443, 2002.
- [4] J.C. Biasci, B. Plan and L. Zhang, *J. Synch. Rad.*, **9**, 44-46, 2002.
- [5] M. R. Howells, D. Cambie, R.M. Duarte, S. Irick, A.A. MacDowell, H.A. Padmore, T.R. Renner, S. Rah, and R. Sandler ‘*Theory and practice of elliptically bent x-ray mirrors*’ *Optical Engineer*, **39**, 2748-2762, 2000.
- [6] Y. Li, A. Khounsary, J. Maser and S. Nair, *Proc. Of SPIE*, **5193**, 204-210, 2004.
- [7] Y. Li, A. Khounsary and S. Nair, *Proc. Of SPIE*, **5533**, 157-162, 2004.
- [8] T Mochizuki et al, *Nucl Inst & Meth A* 467-468, **647**, 2001.