

EL GIGANTESCO FRIGORÍFICO DEL CERN

La primera fase del sistema de refrigeración para el LHC está ya instalada y preparada para realizar las pruebas iniciales

Cuando el LHC (*Large Hadron Collider*) entre en funcionamiento en el **CERN**, será uno de los lugares más fríos de la Tierra. Para mantener los protones circulando alrededor del anillo y, al mismo tiempo, alcanzar una energía tan elevada como sea razonablemente posible, se requieren imanes superconductores que funcionarán a la temperatura de 1,9 K (sólo 1,9 grados por encima del cero absoluto de temperatura), más frío que el espacio exterior. Ciertamente, aunque puede haber lugares más fríos en otros laboratorios, ninguno llegará a la escala del LHC. La tarea de mantener los 27 kilómetros de longitud de la estructura a 1,9 K será realizada por helio, el cual será enfriado a su estado superfluido en un gigantesco sistema de refrigeración.

La elección de la temperatura de trabajo para el LHC se debe tanto a las "super" propiedades del helio como a las de la aleación superconductora de niobio-titanio para las bobinas de los imanes. A la presión atmosférica, el gas helio se licúa a unos 4,2 K, pero, cuando se le enfría aún más, experimenta un segundo cambio de fase a unos 2,17 K a un estado super-

fluido. Entre sus muchas propiedades notables, el helio superfluido tiene una conductibilidad térmica excepcional, que le convierte en el refrigerante ideal para el enfriamiento y estabilización de grandes sistemas superconductores. Así, cada una de las secciones del sistema criogénico del LHC acarrearán kilovatios de refrigeración por los más de 3 kilómetros de cada sección con una caída de temperatura de 1,9 a 1,8 K, menos de una décima de grado.

Desde el punto de vista criogénico, el LHC es un sistema de gran tamaño de distribución de helio que opera en una serie de niveles de temperatura hasta bajar a 1,8 K. Al estar instalado en el túnel construido originalmente para el LEP (*Large Electron Positron Collider*), para reducir costos el sistema de enfriamiento ha sido diseñado teniendo en cuenta las cuatro instalaciones refrigeradoras de 4,5 K que fueron utilizadas para enfriar las cavidades superconductoras de radiofrecuencia para el LEP 2, la segunda fase del LEP (el túnel no es la única parte del LEP en ser "reciclada" para el LHC). El diseño de estas instalaciones de refrigeración determina los niveles de temperatura para el total del sistema en 75, 50, 20 y

4,5 K, además del nivel final de temperatura producido por el sistema de refrigeración a 1,8 K y que suministra el helio superfluido a la "masa fría" que contiene las bobinas superconductoras.

El LHC constará de ocho sectores de 3,3 kilómetros de longitud con columnas de acceso a los servicios en la superficie solamente en los extremos de cada sector. La disposición del sistema de refrigeración está basada en cinco "islas criogénicas", tres de las cuales sirven a dos sectores y las otras dos sirven a un sector cada una. Así, cada "isla" debe distribuir y recuperar refrigerante a lo largo de una distancia de 3,3 km.

Entre los principales componentes para este sistema de refrigeración están los ocho refrigeradores de 4,5 K, uno para cada sector, cada uno con una capacidad de 18 kW a 4,5 K. Cuatro de ellos han sido recuperados del LEP y han sido reformados para funcionar en los sectores con ligeramente menor demanda de refrigeración. Los otros cuatro sectores de mayor carga serán enfriados por cuatro nuevos refrigeradores de 4,5 K, el último de los cuales pasó sus pruebas de aceptación a finales de 2003.

La potencia de refrigeración necesaria para enfriar las 4.700 toneladas de material en cada sector del LHC es enorme y sólo puede ser producida



Cada uno de los ocho refrigeradores de 4,5 K para el LHC consta de una estación compresora (izquierda), y una cámara fría (Air Liquide, centro; Linde, derecha)

utilizando nitrógeno líquido. En consecuencia, cada enfriador de 4,5 K está equipado con un pre-enfriador de nitrógeno líquido de 600 kW, que será utilizado para bajar la temperatura del helio hasta 80 K mientras el sector correspondiente es enfriado y más tarde llenado con helio, un proceso que necesitará casi dos semanas. En el túnel no se utiliza el nitrógeno sino sólo helio, lo que reduce considerablemente el riesgo de carencia de oxígeno en caso de una fuga accidental.

El sistema de refrigeración de 4,5 K trabaja por compresión inicial del gas y posterior expansión del mismo. Mientras se expande se enfría perdiendo energía por medio turbo-expansores mecánicos que giran a 120.000 rpm con cojinetes de helio. Sólo dos Compañías en el mundo producen turbo-expansores con suficiente potencia de enfriamiento: **Air Liquide** en Francia y **Linde** en Suiza.

Cada uno de los refrigeradores consta de una estación compresora de helio equipada con sistemas de eliminación de aceite y agua, y una cámara fría de 60 toneladas aislada al vacío en la que el fluido procesado es enfriado, purificado y licuado. La estación compresora suministra gas helio a la temperatura ambiente y comprimido a 20 bar. La cámara fría contiene los intercambiadores de calor y los turbo-expansores que proporcionan las capacidades de enfriamiento necesarias en los diferentes niveles de temperatura, y finalmente licúan el helio a 4,5 K antes de pasar a la unidad de refrigeración a 1,8 K. Cada refrigerador está equipado con un sistema de control del proceso totalmente automático que maneja unas 1.000 entradas y salidas por planta.

El sistema completo de los ocho enfriadores de 4,5 K eleva la capacidad de enfriamiento hasta 140 kW, lo que son casi 40.000 litros de helio líquido por hora. Dentro del propio **CERN**, esto representa un enorme incremento desde el LEP2, por no ha-

blar de la época anterior al LEP en la que las necesidades criogénicas estaban reducidas a experimentos individuales (Fig.1). Para producir en el LHC esta capacidad de refrigeración a 4,5 K será necesaria una potencia eléctrica de 32 MW (4 MW por cada refrigerador).

El proceso de adquisición de los nuevos refrigeradores de 4,5 K empezó en 1998 cuando se firmaron los contratos con **Air Liquide** y **Linde**. Las fases consecutivas de diseño e

gerador de Air Liquide en el Punto 4, seguido por los dos refrigeradores fabricados por Linde en el 2003 para los Puntos 8 y 6.

Naturalmente, la historia no acaba con la instalación de los refrigeradores de 4,5 K. A continuación, el equipo criogénico del LHC se centrará en reconvertir los cuatro refrigeradores del LEP que están ya situados en los Puntos 2, 4, 6 y 8. Simultáneamente, se acabará la instalación de la infraestructura criogénica y las unidades

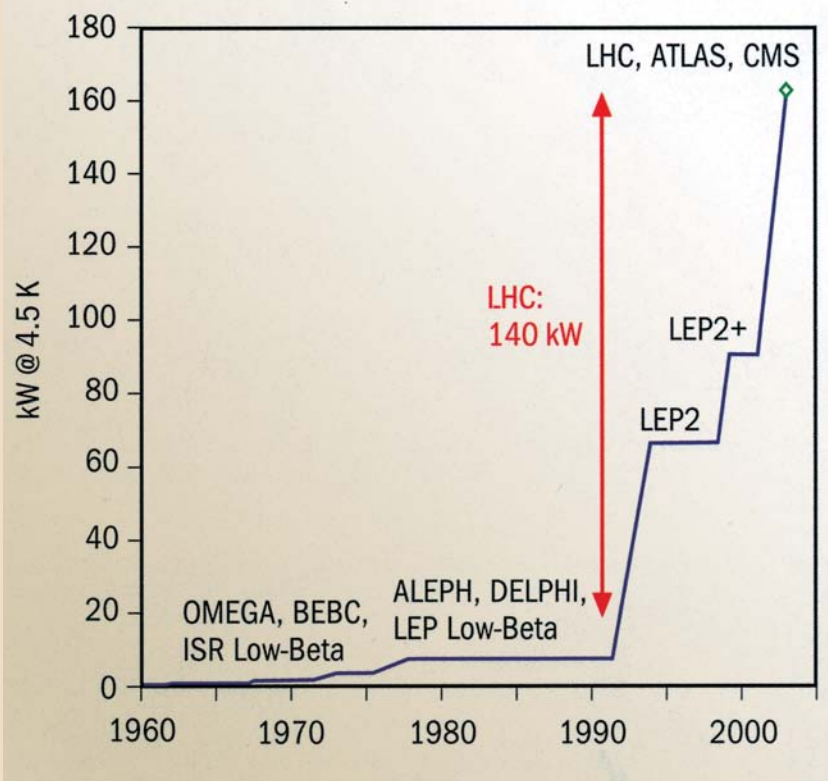


Figura 1 - La potencia de enfriamiento criogénico a 4,5 K ha aumentado de manera sensacional desde la época anterior al LEP

Ingeniería industrial hicieron posible que los primeros suministros se realizaran a mediados de 2000, mientras el LEP estaba todavía en funcionamiento. Después de un periodo de ensayos intensivos, el primer nuevo refrigerador para el LHC, construido por Air Liquide, fue aceptado en marzo de 2002 en el Punto 1.8 del anillo. Desde entonces ha sido utilizado como banco de pruebas de los imanes superconductores. En diciembre de 2002 fue aceptado un segundo refri-

refrigeradoras de 1,8 K para completar todo el sistema. Estas instalaciones se irán poniendo gradualmente en servicio para ensayar los otros conjuntos criogénicos (líneas de transferencia vertical, cajas de interconexión, líneas de transferencia local, y líneas de distribución en el túnel). Esto permitirá realizar los ajustes finales y adquirir la experiencia necesaria para hacer frente al próximo reto, el de enfriar el primer sector de la máquina en 2005. ■