

Desarrollo de un sistema de pruebas para la electrónica de lectura de las cámaras de deriva de CMS



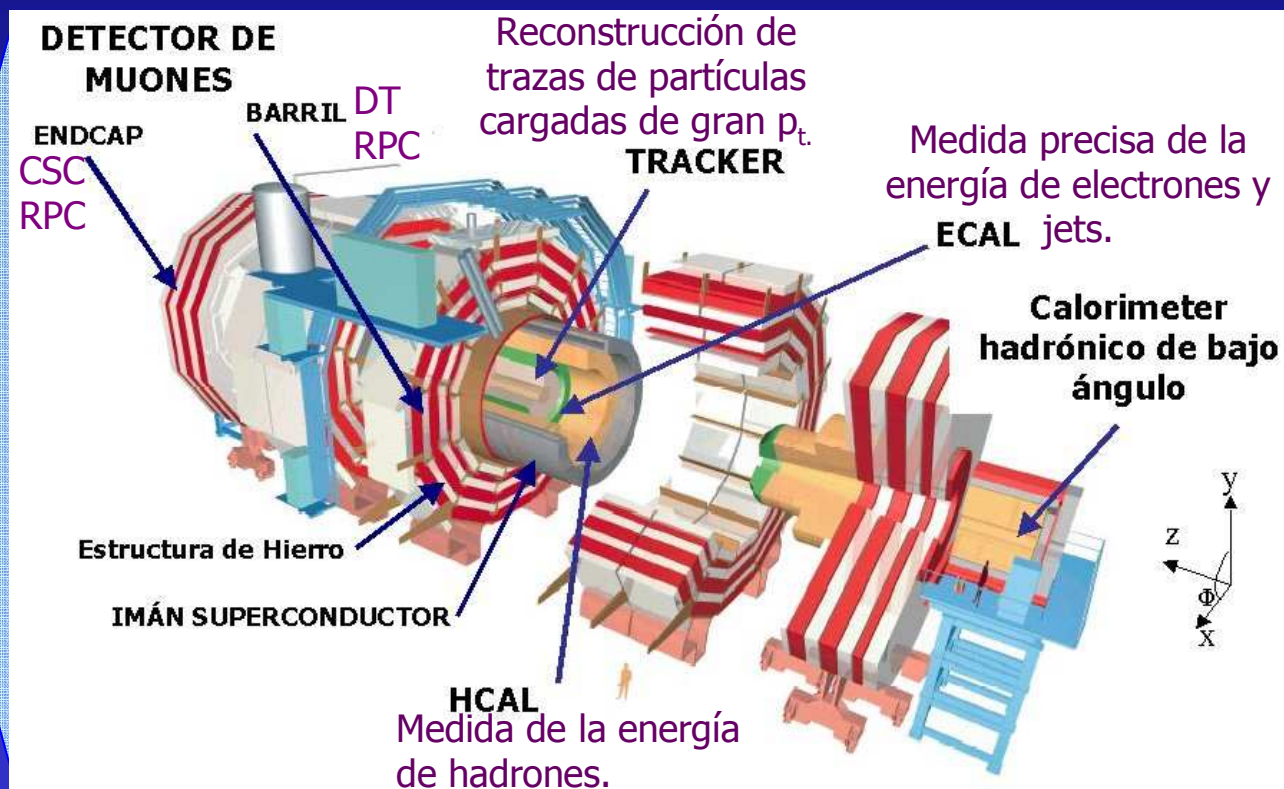
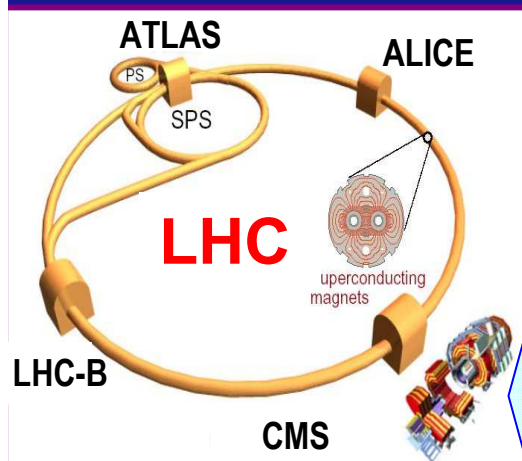
Cristina Fernández Bedoya.

CIEMAT. Madrid.

El experimento CMS (Compact Muon Solenoid)

Uno de los cuatro grandes detectores del LHC (Large Hadron Collider):

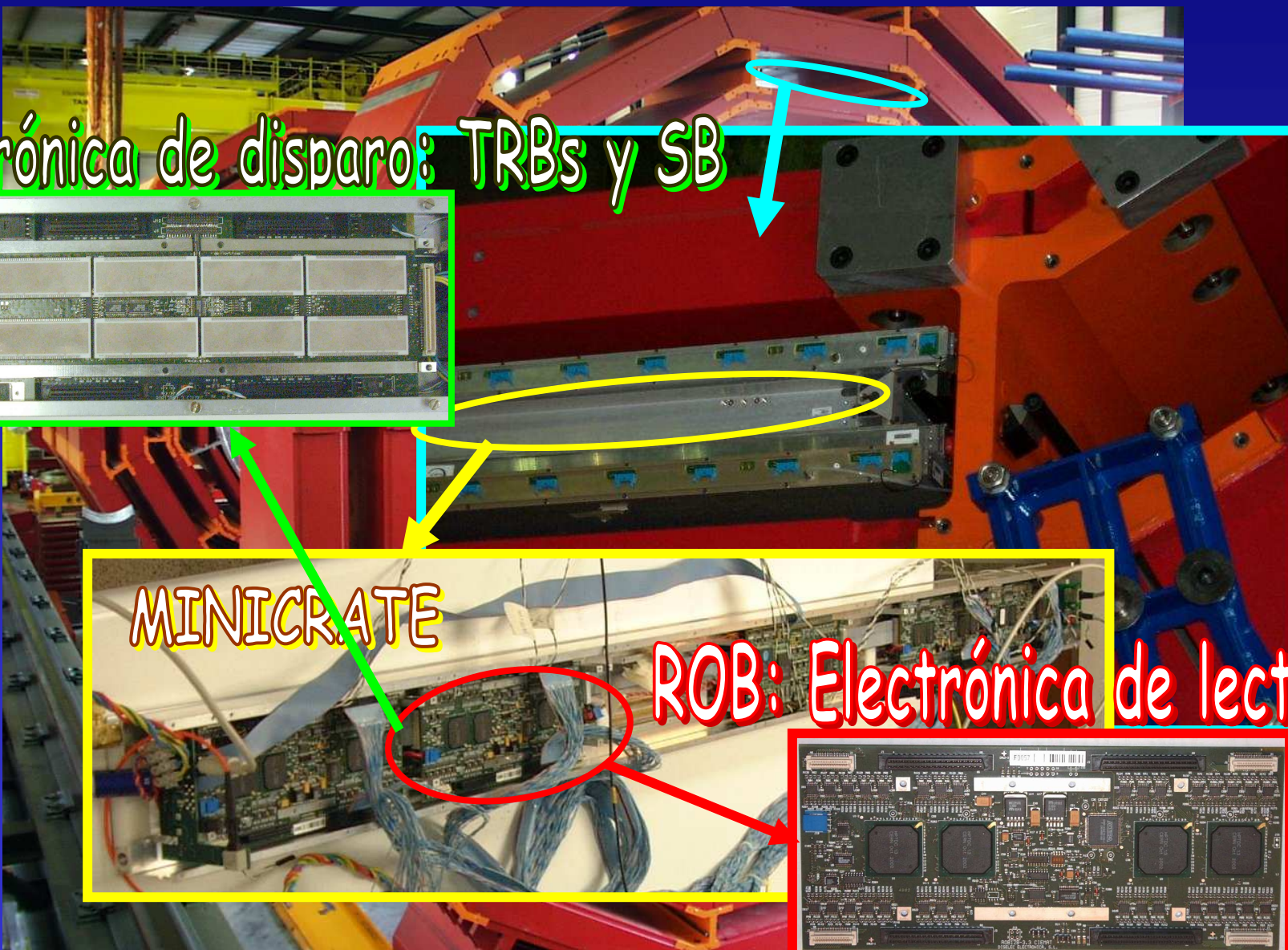
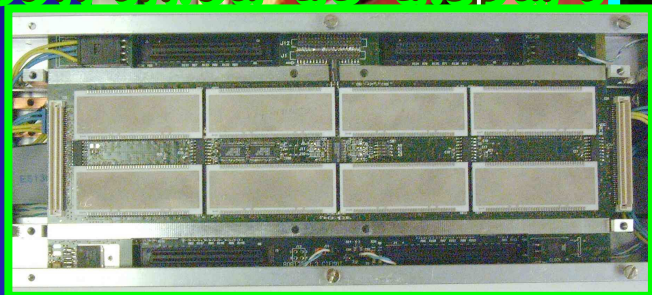
- Colisionador protón-protón de 14 TeV en el centro de masas.
- Luminosidad hasta $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



- ★ CMS tiene 15 m diámetro x 21.5 m longitud y pesa 12500 toneladas.
- ★ Es una colaboración de 36 países (~1940 científicos).
- ★ Operativo en el 2008.

SISTEMA DE DETECCIÓN DE MUONES

Electrónica de disparo: TRBs y SB

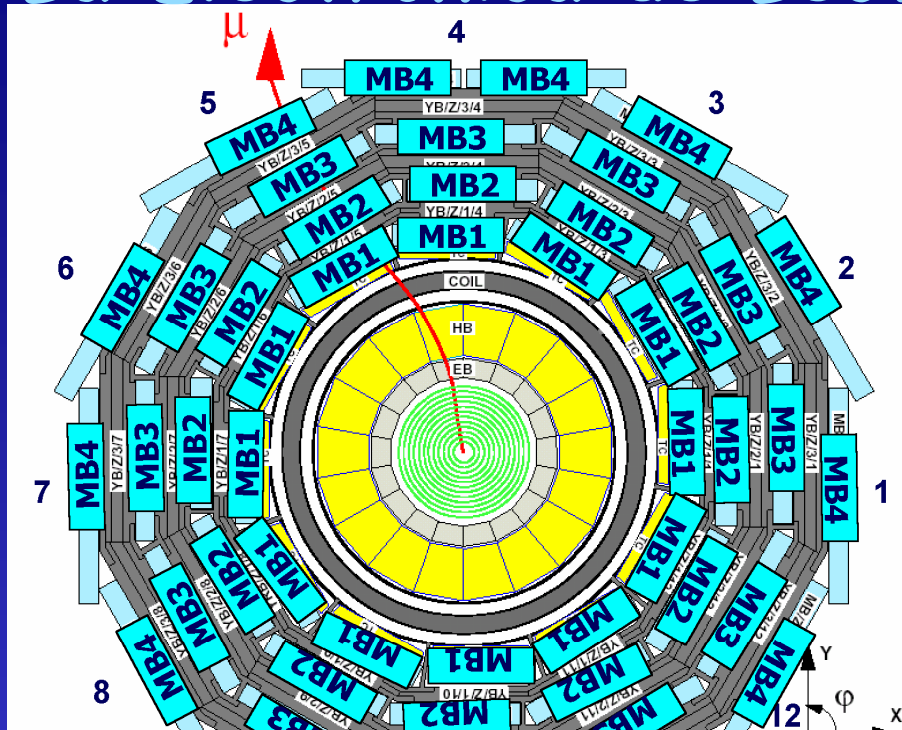


MINICRATE

ROB: Electrónica de lectura



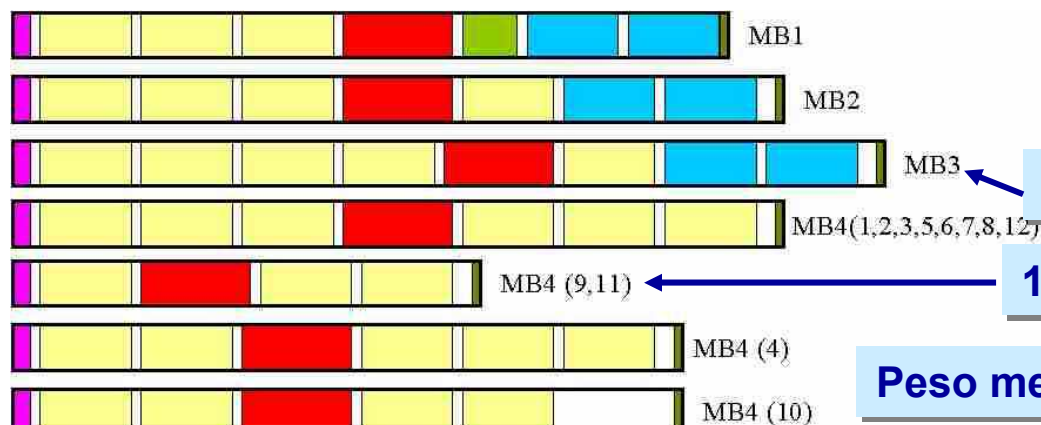
La Electrónica de Lectura: los MINICRATES



250 MINICRATES → 1550 ROBs

Su fabricación se realiza en:

- CIEMAT (Madrid): montaje y pruebas de la parte de la electrónica de lectura.
- INFN Padua y Bologna: montaje y pruebas de la parte de disparo de muones.
- Pruebas en el CERN e inserción en las cámaras de deriva.



Hasta 20 tipos de MCs:

Número de canales/tarjetas, tipo de cámara, situación de las interconexiones, etc.

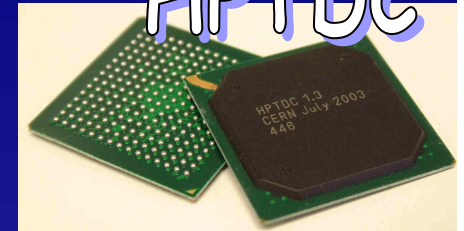
Peso medio ~ 8 Kg

DIGITALIZACIÓN TEMPORAL

Objetivo: proporcionar una medida del tiempo de llegada de las señales de las cámaras con respecto a una señal global de disparo (L1A).

Velocidad de deriva $\sim 55 \mu\text{m/ns}$, $T_{\text{max}} \sim 400 \text{ ns}$
Resolución por hilo $< 250 \mu\text{m}$

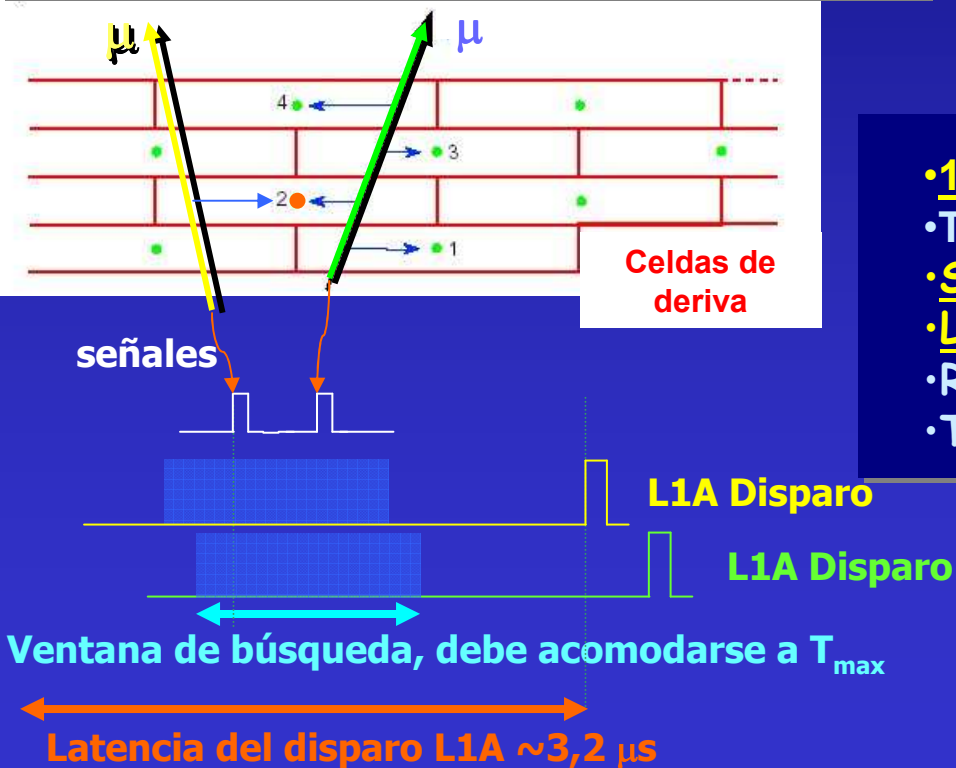
Desarrollo en torno al ASIC HPTDC (High Performance Time to Digital Converter) del CERN/MIC.



Basado en un sistema de líneas de retardo (DLL) que divide el reloj del LHC (40 MHz):
 $25\text{ns} / 32 = \underline{781 \text{ ps en baja resolución}}$

REQUISITOS DEL SISTEMA:

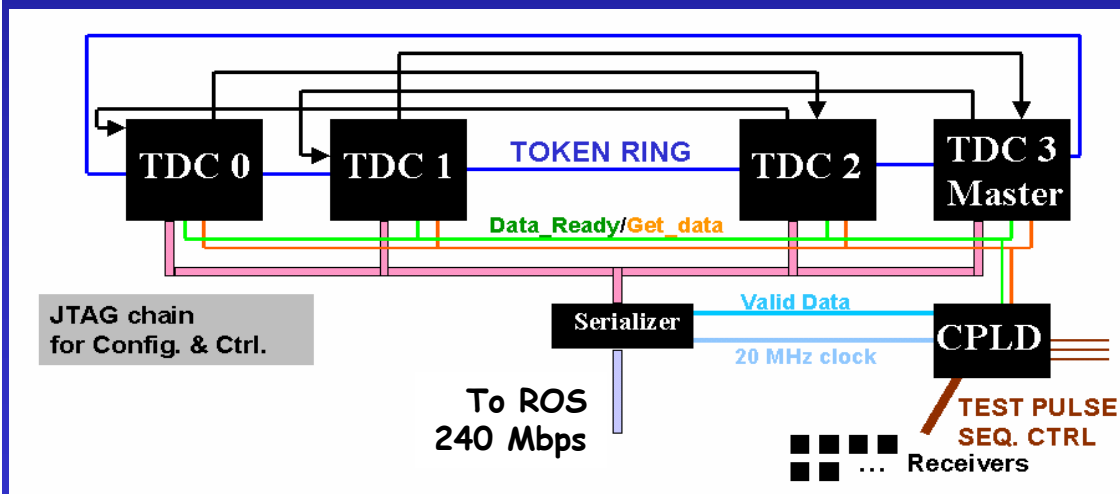
- 172.200 canales
- Tasa máxima de L1A: 100KHz
- Solapamiento de disparos: $T_{\text{max}} \sim 400\text{ns} \gg 25\text{ns}$
- Latencias de L1A de $3,2 \mu\text{s}$
- Resolución $< 1\text{ns}$
- Tasa de señales 10KHz/canal



- Radiación ambiente (fluencia de neutrones: 10^{10}cm^{-2} , flujo de partículas cargadas: $10 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 1Gy dosis integrada).
- Campos magnéticos ($< 0,8\text{T}$).
- Funcionamiento durante 10 años con mantenimiento limitado.

ROB: Read-Out Board

- 4 HPTDCs/ROB => 128 canales por ROB
- Los HPTDCs están conectados en una configuración de anillo para la transmisión de datos (palabras de 32 bits) a un serializador. Posibilidad de saltar un HPTDC si no está funcionando correctamente.
- Otras características: configuración mediante JTAG, sistema de protección de la alimentación, monitorización de las tensiones (2.5V y 3.3V), corriente y temperatura, mecanismo de pruebas (test pulse).



Validación de la ROB

- Resolución RMS ~260 ps.
- Interferencia entre canales <350ps.
- Ciclos térmicos entre 0° y 70°C. Variaciones de < 45 ps/°C.
- Pruebas de tiempo de vida: 4 meses a 105°C sin fallos.

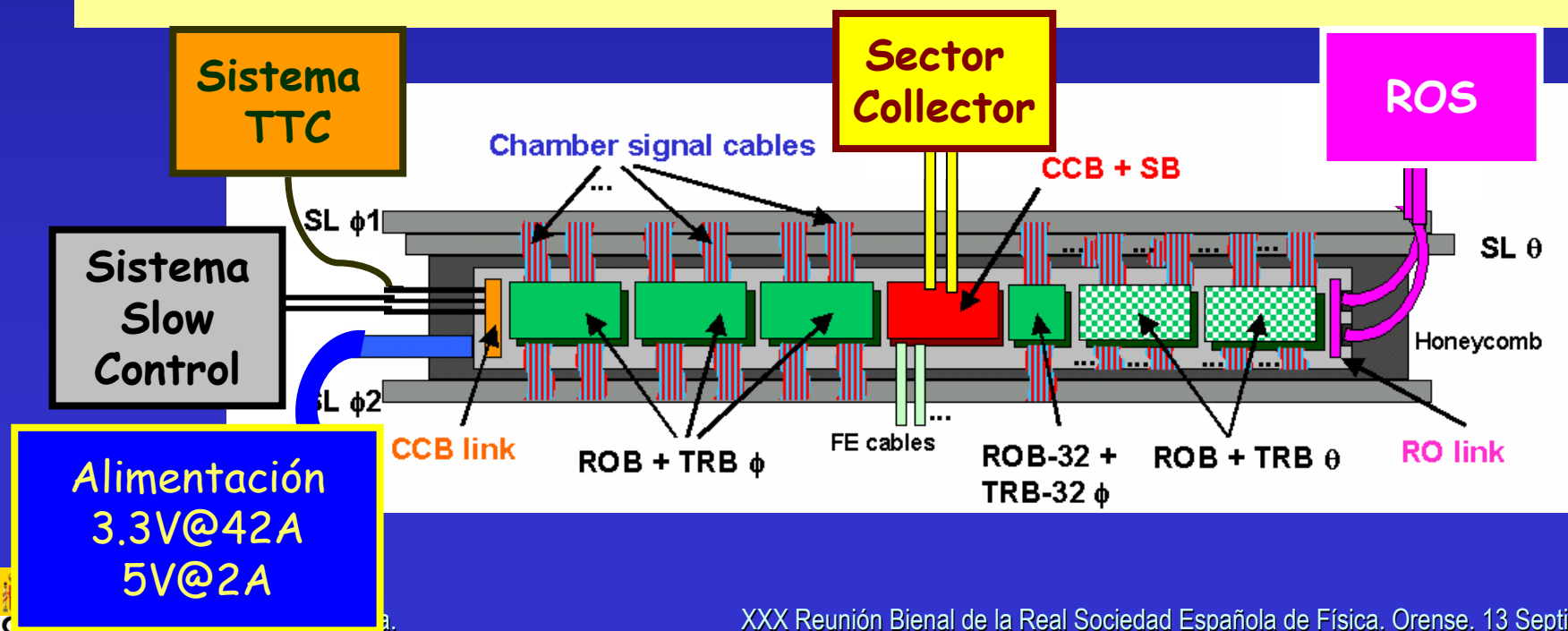
- Tests de radiación en el Cyclotron Research Centre (UCL): $5 \cdot 10^{10}$ protones cm^{-2} a 60MeV
Intervalo entre fallos MTBF(SEU) ~ 3 días en todos los HPTDCs de CMS.

EL MINICRATE

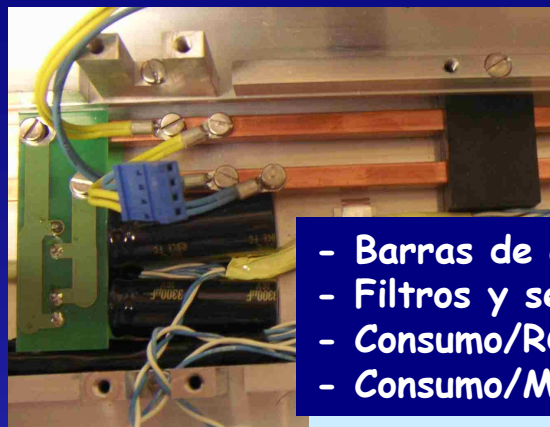
7

Estructura de aluminio que proporciona soporte y conducción térmica (refrigeración por agua).

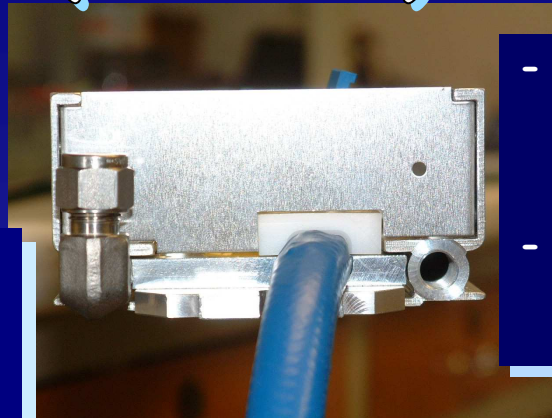
- 3-7 **ROBs + ROLINK** (interfaz con los cables de salida de datos a la ROS)
- 3-7 **TRBs** (Trigger Boards): comparten las señales procedentes de la cámara.
- 1 **SB** (Server Board): Recoge, procesa y retransmite la información de disparo de las TRBs.
- 1 **CCB** (Chamber Control Board) + **CCB-link**: permiten la **configuración y monitorización** de la electrónica de la cámara. Interfaz con el sistema **TTC** (Timing & Trigger Control: reloj LHC, disparo L1A, señales de sincronización y comandos de test pulse).



Read-Out Minicrate (RO-MC)



- Barras de cobre para 3.3V.
- Filtros y sensores.
- Consumo/ROB ~3W,
- Consumo/MC ~130W.



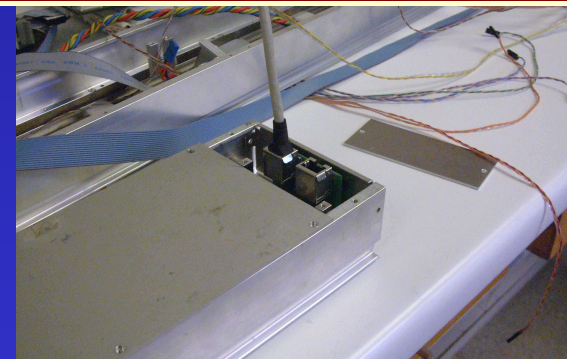
- Corte transversal: tubería para refrigeración por agua.
- Prueba: flujo de agua a 20°C de 1,5l/min => T_{max}~38°C

Señales LVDS procedentes de las cámaras

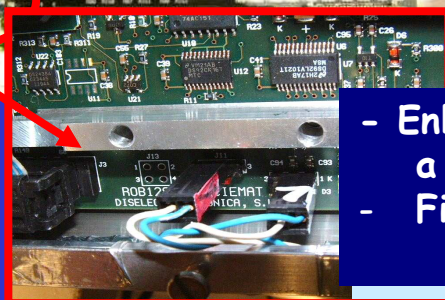


Conexión con la tarjeta TRB

Mantenimiento limitado => un fallo en un elemento no debe afectar al funcionamiento del resto del sistema.



- Conexiones de reloj independientes para cada ROB.
- Apantallamiento de los cables de señal.

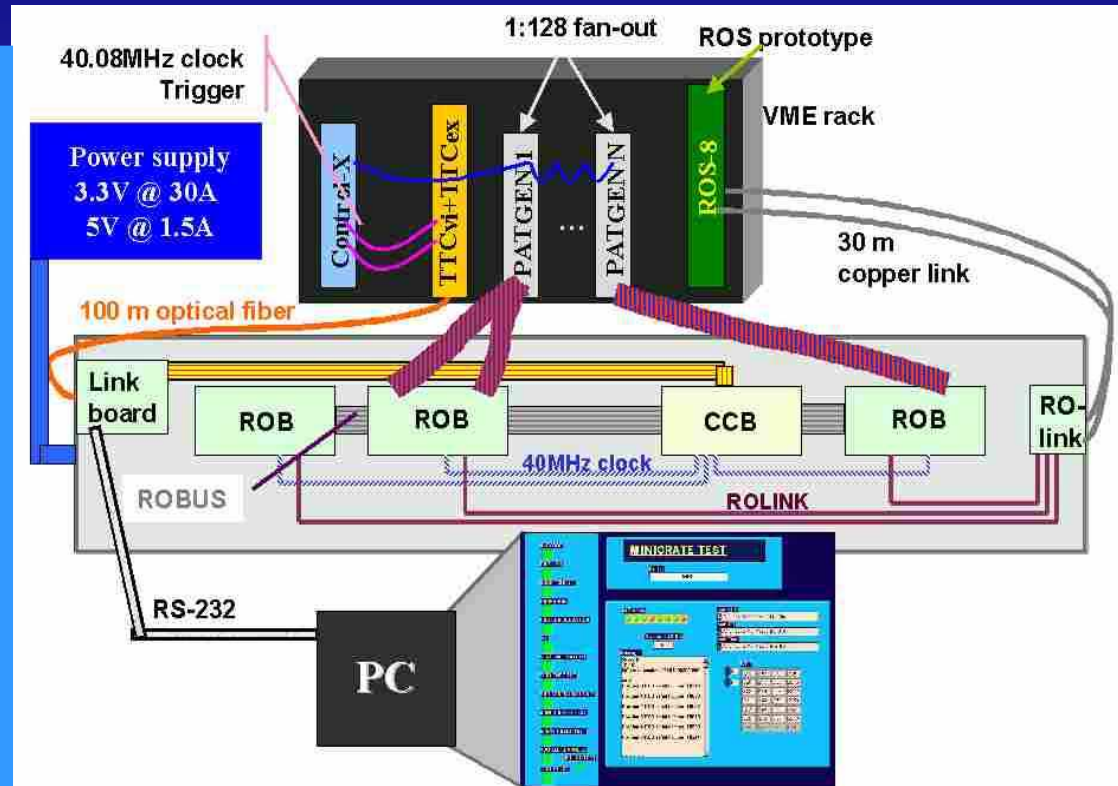


- Enlace de salida de datos. Conexión punto a punto ROB-ROS.
- Fiabilidad del enlace (cable de 30m): BER < 10⁻¹⁵.

Sistema de pruebas del RO-MC

- Se ha desarrollado un sistema de pruebas para validar el montaje de los RO-MCs y verificar el correcto funcionamiento de todos los elementos que lo componen.
- Es un sistema de pruebas para laboratorio, no necesita estar conectado a una cámara de deriva.

- Fuentes de alimentación de 3.3V@20A y 5V@2A.
- Rack e interfaz VME 6U.
- Un ordenador, sobre el que se ejecuta el código desarrollado en LabView.
- Interfaz VME TTC: Módulos VME para generar todas las señales TTC e interfaz óptica a 1310nm.
- Generadores de señales (Patgen): Módulos VME para simular señales procedentes de las cámaras. Tiene 2 entradas (p0 y p1) y 128 salidas (1 ROB).



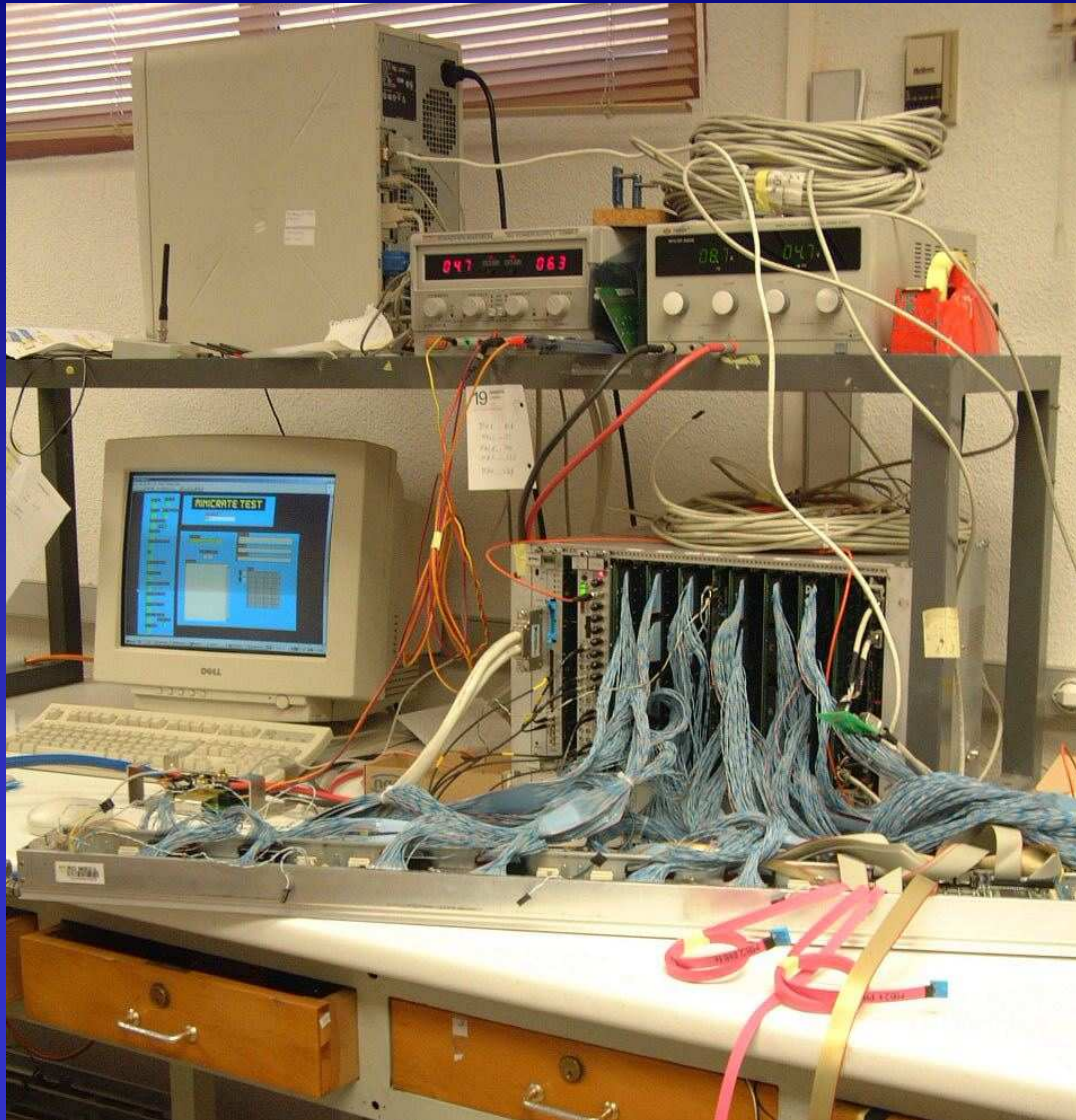
Control-X: Módulo VME de control. Genera, entre otras, la señal de disparo y las entradas de Patgen con el retardo fijo programado.

ROS-8: Módulo VME capaz de leer un MC completo. Tiene 16kbytes de FIFOs/canal.

Sistema de pruebas del RO-MC

- FASES**
- Comprobación del encendido de cada ROB y del comportamiento ante cortocircuitos.
 - Asegurar la correcta programación de todas las ROBs: bus, líneas de dirección, interfaz JTAG, líneas de reloj, estado de las memorias, etc.
 - Comprobación de la línea de aviso de error (se enciende y se apaga cuando debe).
 - Monitorización de la tensión de 2.5V y 3.3V, la corriente y la temperatura de cada ROB.
 - Comprobar la sincronización de todo el MC (fase del reloj con respecto a la fase de las señales de disparo y otras señales TTC).
 - Comprobación de las interfaces con otros elementos externos (interfaz I2C con RPC y leds de alineamiento).
 - Pruebas de adquisición de datos: señales independientes en cada canal, habilitación/deshabilitación de canales, inyección simultánea de señales en todos los canales, pruebas de Test pulse, etc.
 - En todos los casos, siempre se comprueba:
 - número de evento consecutivo, números de evento y de cruce de haces idénticos para todas las ROB del MC, número de palabras transmitidas, identificación del HPTDC master, errores de transmisión o de paridad, valor de la medida de tiempos proporcionada, etc.

Sistema de pruebas del RO-MC



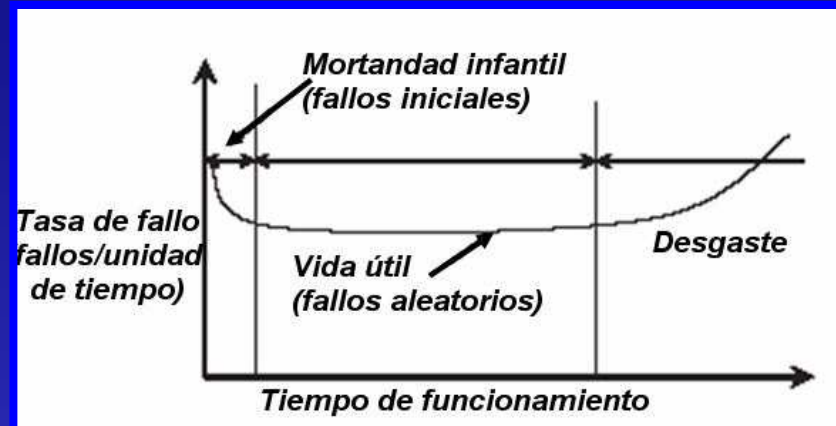
Todas estas comprobaciones permiten asegurar:

- un funcionamiento correcto del bus de configuración,
- la programación del HPTDC y su monitorización,
- la operación del resto de los componentes de cada ROB,
- el circuito de alimentación,
- el mecanismo de direccionamiento,
- las conexiones de reloj y de transmisión de datos, etc

Sistema de pruebas del RO-MC

BURN-IN

Las tarjetas ROB pasan un proceso de "Burn-in": envejecimiento no destructivo para eliminar la mortandad infantil de los dispositivos.



- Armario con temperatura ambiente controlada, alimentadas y con reloj.
- 800 tarjetas durante 1 semana a 50°C => ningún fallo observado.
- Resto 2 semanas a 60°C.

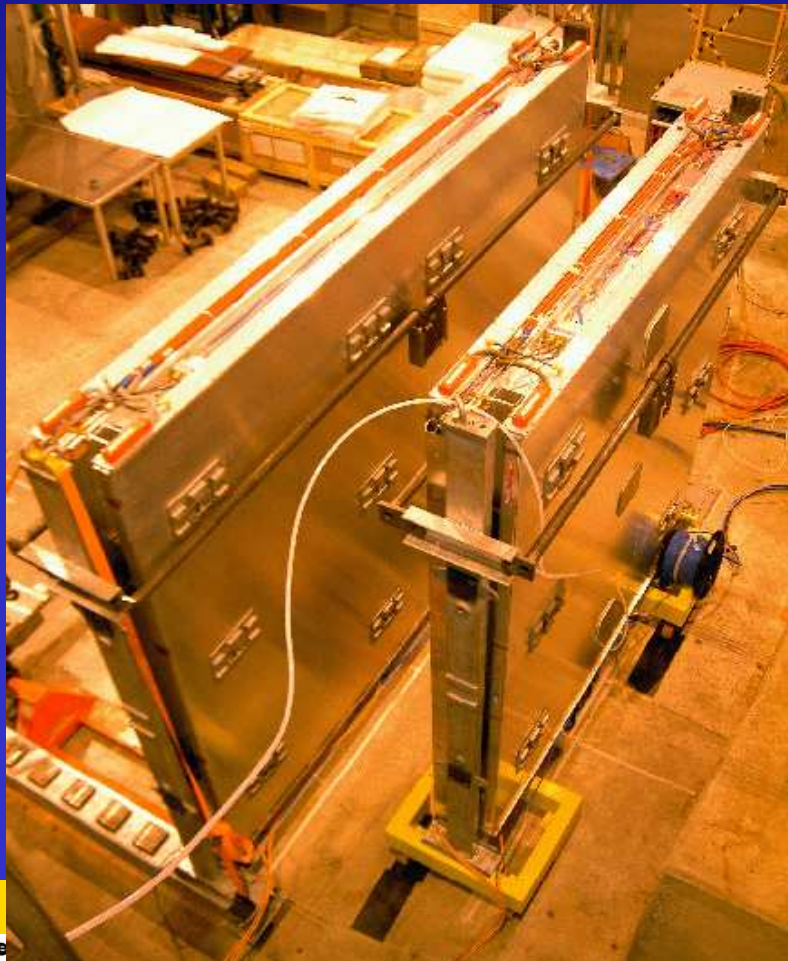
CABLES

También se ha diseñado una tarjeta específica para la prueba de los distintos tipos de cables que se fabrican.



Pruebas con haces de muones

- Haz de muones procedente del acelerador SPS del CERN
- Estructura de 25 ns del haz -> similar a LHC, permite validar el solapamiento de disparos.
- ~5000 disparos/s.



Cámara de deriva funcionando en condiciones reales de gas y tensión. En el 2003 una cámara y dos cámaras en el 2004.

Zona de incidencia del haz: 96 canales de la ROB ($\sim 10 \text{ cm}^2$).

Reloj de 40MHz proporcionado por el acelerador y conjunto de plásticos para generar el sistema de disparo.

El sistema se comportó correctamente.

Conclusiones

- Se ha completado el diseño final de la electrónica de lectura de las cámaras de CMS (ROB+MC). El sistema ha sido desarrollado para cumplir con los requisitos del sistema, tanto de funcionalidad como por el entorno en el que va a operar (radiación, mantenimiento limitado, etc).
- Tras haber validado su diseño a lo largo de diversas pruebas, se ha comenzado su fabricación en el CIEMAT.
- Se ha desarrollado un sistema de pruebas que permite operar un MC sin estar conectado a una cámara de deriva.
- Este sistema permite validar los MCs fabricados probando toda la funcionalidad que tiene que desarrollar la electrónica de lectura.
- El montaje y la correcta operación de cada elemento se prueba en repetidas ocasiones durante el proceso de fabricación.
- Además las tarjetas ROB pasan una fase de "Burn-in" para descartar dispositivos con defectos latentes.
- Hasta el momento, 100 MCs (de 269) han sido fabricados y probados satisfactoriamente. La producción se finalizará a principios del año 2006.