

LOS COMIENZOS DE LA PARTICIPACIÓN DEL CIEMAT EN EL EXPERIMENTO CMS DEL LHC

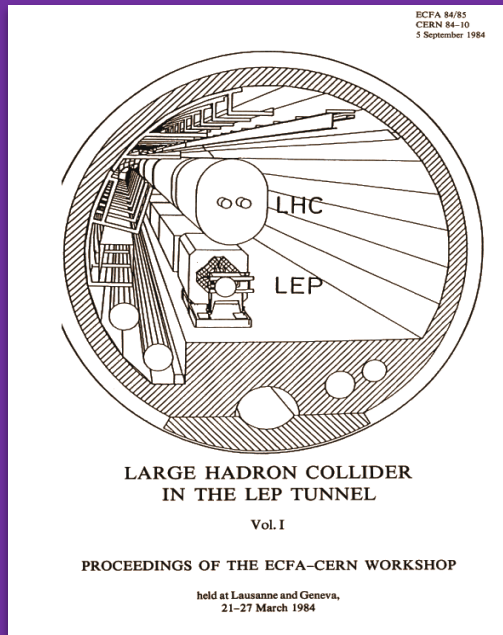


Marcos Cerrada

El LHC (Large Hadron Collider)



1984: Proyecto presentado en el Workshop de ECFA en Lausana



Al final de la operación de LEP (1989-2000), LHC toma el relevo y pasa a ser el proyecto estrella del CERN

Cronología del LHC

1994 : CERN da luz verde a LHC

1995 : LHC Technical Design Report

2000 : Entrega del primer dipolo. LEP finaliza su actividad

2005 : Se completa la ingeniería civil (cavernas). Primer dipolo instalado.

2007 : Entrega del último dipolo. Enfriado del primer sector

2008 : Acelerador completo. Enfriado completo y bajo vacío

10/Sep: Primer haz en circulación

19/Sep: Accidente en unión de imanes: >1 año parada.

2009 : Haces de nuevo en circulación

23/Nov: Colisiones a 450 GeV

30/Nov: Haces a 1.18 TeV.

2010: 30/Mar: Colisiones a 7 TeV

Arranca el programa de investigación (7 TeV y 8 TeV)

2012: Descubrimiento del Higgs

1994: Primer prototipo de dipolo superconductor alcanza 8.74 T



2007: Instalación del último dipolo

La fase de aprobación de los experimentos en el LHC

Antes incluso de que LEP hubiera empezado a operar, parte de la comunidad tenía claro que LHC sucedería a LEP. Y que se necesitarían nuevos detectores. Actividad de I+D promovida por el CERN.

1988 – 1992: Periodo de gestación de nuevas Colaboraciones

Marzo 1992 : En Evian se presentan 4 diseños (Expressions of Interest) de experimento multipropósito para el LHC:

CMS, L3+1, ASCOT y EAGLE

ATLAS nacerá como consecuencia de la fusión de ASCOT + EAGLE.

A final de año, al LHCC se presentan 3 Letters of Intent (LOI): **CMS, L3P y ATLAS**

1993: El CERN dará el visto bueno a 2 : **CMS y ATLAS**

CMS: ***Detector compacto con un gran solenoide superconductor***

ATLAS: ***Detector de mayor tamaño con una configuración magnética más compleja incluyendo imanes toroidales.***

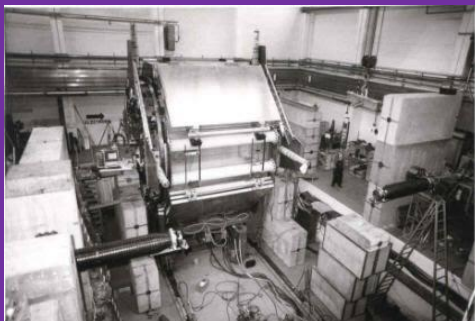
El Grupo de Altas Energías del CIEMAT : Década de los 80

Pequeño grupo participando en experimentos del CERN (cámara de burbujas)

EHS (Espectrómetro Híbrido Europeo)



1981 : Invitación de S.C.C. Ting a colaborar en el experimento MARK-J (DESY). Paso previo a colaborar en el experimento L3 de LEP que se aprobaría en 1982.



B.Adeva, J.Berdugo,
C.Mañá, J.Salicio

1983 : España vuelve a ingresar en el CERN
El CIEMAT (la JEN en ese momento)
juega un papel fundamental.
Se elabora un Plan Movilizador de
la Física de Altas Energías.

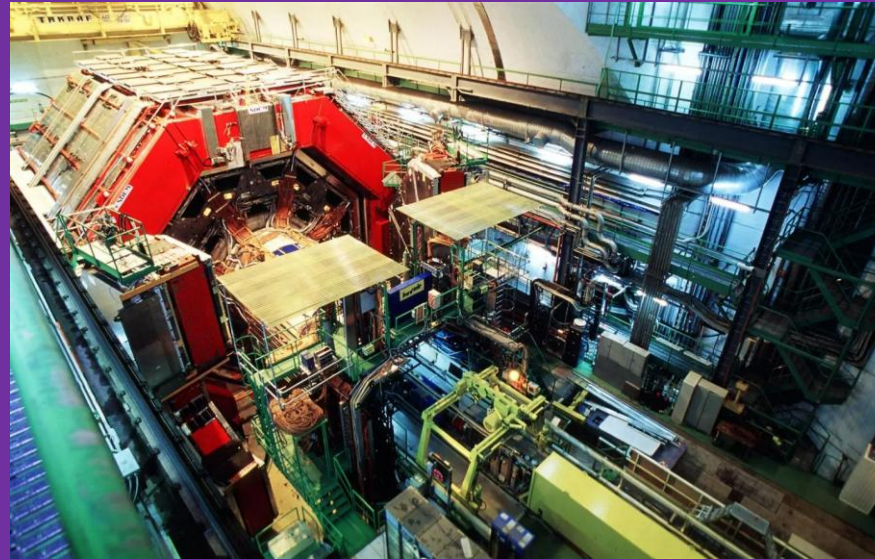


J.A.Rubio, M.Aguilar, A.Ferrer,
C.Pajares, P. Pascual, R.Otero

Participación del CIEMAT en el experimento L3 en LEP

Contribución importante a la construcción del detector de muones (MIT,NIKHEF,CIEMAT)

- Construcción de las cámaras Z en la nave 75 del CIEMAT
- Construcción en España de las estructuras mecánicas soporte del detector de muones (octantes)
- Ensamblaje, instalación y pruebas en el CERN de los octantes.



“The construction of the L3 experiment”, Nucl. Instrum. Methods A289 (1990) 35-102

M.Aguilar, J.Alcaraz, J.Alvarez Taviel, J.Berdugo, C.Burgos, M.Cerrada, N.Colino, M.Daniel, I.Durán, M.Fernández, J.M.Figarola, E.González, C.Mañá, L.Martínez, A.Molinero, P.Olmos, S.Rodríguez, L.Romero, J.A.Rubio, J.Salicio, C.Willmott

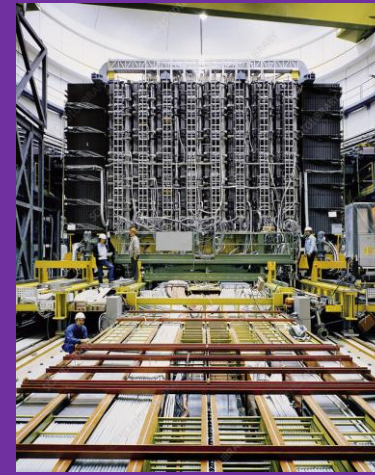
Gran logro colectivo. Aprovechamiento de recursos materiales, humanos y de infraestructuras del CIEMAT, ejemplo a seguir en CMS.

Enorme apoyo de diversos departamentos:
Talleres Generales, Ingeniería, Electrónica, Ensayos de Materiales, Control de Calidad, y Centro de Cálculo.

Participación del CIEMAT en el experimento UA1 en el SPPS (1986-1990)

- Operación y análisis de datos del experimento
- Remodelación de la calorimetría existente

Uranio como material absorbente y cámaras de ionización conteniendo tetrametilpentano (TMP)



A.Ferrando, T.Rodrigo, F.J.Diez Hedo, M.A.Marquina, I.Josa, J.M.Salicio, E.Torrente

A finales de 1990 una parte importante de la Colaboración UA1 va a jugar un papel relevante en la gestación de CMS

- Investigadores del CIEMAT (**A.Ferrando, L.Martínez-Laso**) firman la LOI de CMS presentada a finales de 1992 al LHCC.
- Participación en actividades de I+D en el CERN de cara a una posible contribución al experimento.

RD5 (a partir de 1991) :

“ Study of muon triggers and momentum reconstruction in a strong magnetic field for a muon detector at the LHC”.

A.Ferrando, M.C.Fouz, I.Josa, L.Martínez-Laso, J.M.Salicio, E.Torrente

Importante para entender el comportamiento de un detector de muones en el entrehierro de un imán

RD37 (a partir de 1993) :

“Very forward hadron calorimetry at the LHC using PPCs”

A.Ferrando, M.C.Fouz, I.Josa, J.M.Salicio

*Objetivos de Física: mejorar la medida de la “missing E Transversa”
y permitir identificar y reconstruir jets a bajo ángulo*

El experimento L3

Fase 1: 90 GeV

Física del Z^0

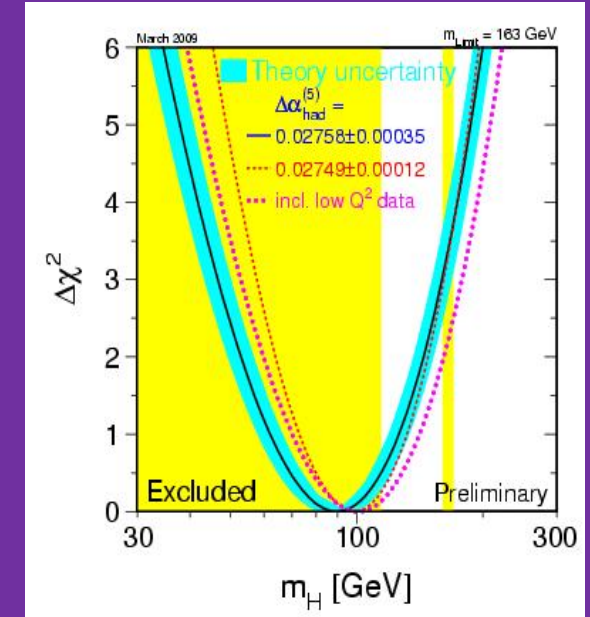
Fase 2: 140 – 209 GeV

Producción de W^+W^-

LEP, Julio 1989 -
Diciembre 2000

Verificación exhaustiva del
Modelo Standard

M (Higgs) > 114 GeV



I+D con vistas al LHC

Dentro de L3 hay también interés en proponer un experimento para el LHC. La idea sería utilizar parte de la infraestructura y la filosofía de L3.

- De ahí surge que investigadores del CIEMAT firmen la LOI de L3P. Tras la decisión del CERN de aprobar solo ATLAS y CMS, la opción lógica es CMS.
- La experiencia adquirida en L3 en detección de muones y la necesidad de optimización requerida por un experimento en el LHC para estos detectores, justifica el interés en algunas líneas de I+D que parte del grupo inició con financiación de la CICYT

Diseño y desarrollo de un prototipo de sistema de alineamiento para CMS

J.Alberdi, C.Burgos ... (1993, 1994 y 1995)

Construcción de un prototipo de cámaras de deriva para CMS

L. Romero... (1995)

Evaluación de una contribución al sistema del Front End Readout de CMS

C. Willmott... (1995)

La participación del CIEMAT en CMS

1994: CIEMAT firma el CMS Technical Proposal expresando su intención de participar en dos componentes básicos del detector: Calorímetro Very Forward y Sistema Central de Muones

Objetivos conceptuales de CMS

- 1) Un sistema de detección de muones excelente y redundante
- 2) El mejor calorímetro electromagnético posible compatible con 1)
- 3) Un tracker preciso que haga posible 1) y 2)
- 4) Un coste razonable

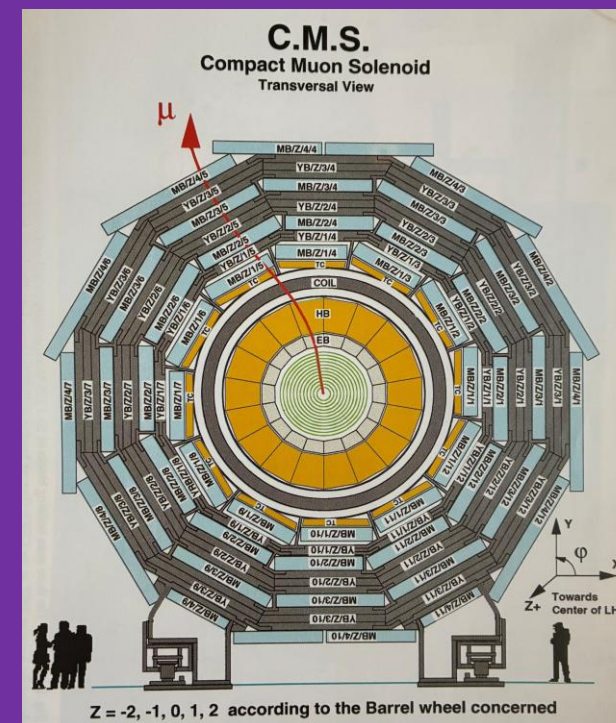
Grupos CMS involucrados en el detector central de muones (Barrel Muon Group)
Colaboración entre Italia (Padova, Bologna, Torino),
Alemania (Aachen) y
España (CIEMAT, Santander)

1995: Reunión en Santander: Acuerdo entre los grupos de la distribución de responsabilidades. Se acepta la propuesta del CIEMAT de hacerse cargo de la MB2 (25% del detector).

Aprobado por el CMS Management Board y refrendado inicialmente con la firma del IMOU por la D.G. del CIEMAT y el Ministerio. Con financiación ya desde 1997 de la CICYT (AEN96-1646-C03)

1997: The Muon Project Technical Design Report

Centro de Investigaciones Energeticas Medioambientales y Tecnologicas, Madrid, SPAIN
M. Aguilar-Benitez, J. Alberdi, J.M. Barcala, J. Berdugo, C. Burgos, M. Cerrada, N. Colino,
M. Daniel, M. Fernandez, A. Ferrando, M.C. Fouz, M.I. Josa, P. Ladrón de Guevara, J. Marin,
F. Martin Suarez, J. Mocholi, A. Molinero, J. Navarrete, J.C. Oller, J.L. Pablos, L. Romero,
J. Salicio, C. Willmott



Contribución del CIEMAT a la construcción del detector

- Cámaras de muones (Barrel Muon Drift Chambers)

Diseño y producción de 70 cámaras (~ 25 % del total , 700 readout channels /cámara)

Objetivo: identificar, hacer trigger, y medir la posición (100 micras) y el ángulo (1 mrad) de la trayectoria de los muones con eficiencia superior al 99 %.

- Muon Chamber Electronics

Diseño y fabricación del sistema de readout para las 250 cámaras

- **ROB (Readout Boards)** que contienen los TDCs (128 canales em cada tarjeta) localizadas en las minicrates.

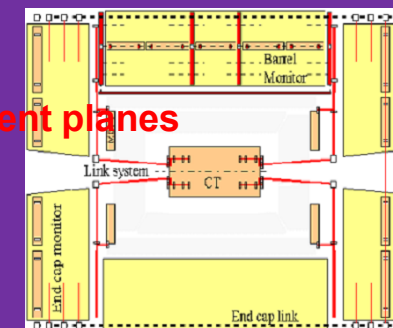
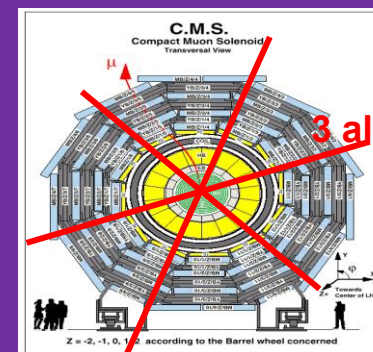
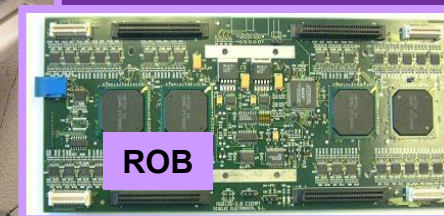
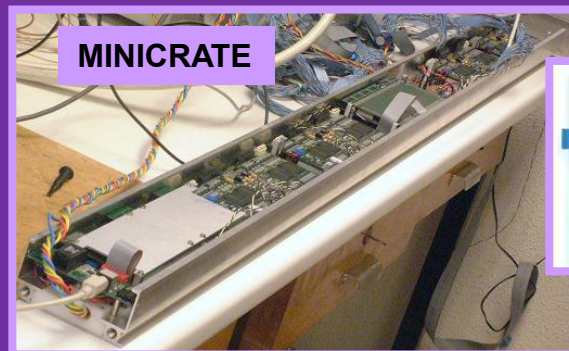
- Link Alignment System (CIEMAT-Santander)

Diseño e implementación de un sistema optomecánico que permita medir posiciones relativas de las cámaras con respecto a la parte interna de CMS.

Precisión esperada del orden de 100-250 micras

4 Chamber Production Centers

Aachen (RWTH)	60MB1 + 10 MB4
CIEMAT	60MB2 + 10 MB4
Legnaro	60MB3 + 10 MB4
Torino	40MB4



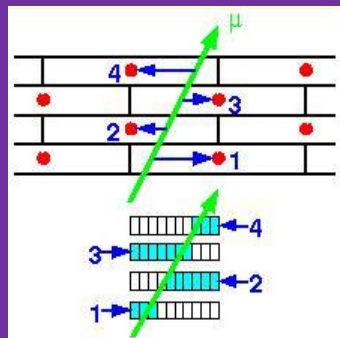
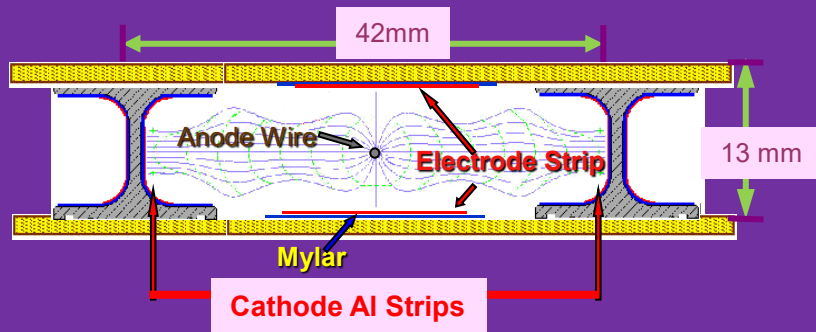
Incluyendo todas las pruebas y calibración de componentes del sistema y su electrónica asociada.

El grupo del CIEMAT completó el programa de I+D para la calorimetría basada en PPC's.

CMS optó finalmente por un calorímetro VFW basado en fibras de cuarzo (QF), y CIEMAT contribuyó a su definición y optimización.

La contribución del CIEMAT a la construcción de cámaras de CMS (L. Romero, ...)

Fase 1: I+D y prototipos para optimizar el diseño de celda y la geometría multicapa de los tubos de deriva (Drift Tube Chambers)



DT Local Trigger (BTI)

Based on a meantimer technique:

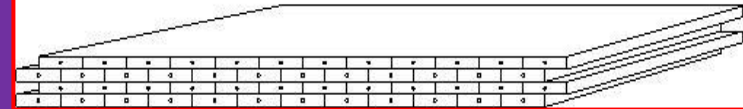
$$MT1 = 0.5 * (T1 + T3) + T2$$

$$MT2 = 0.5 * (T2 + T4) + T3$$

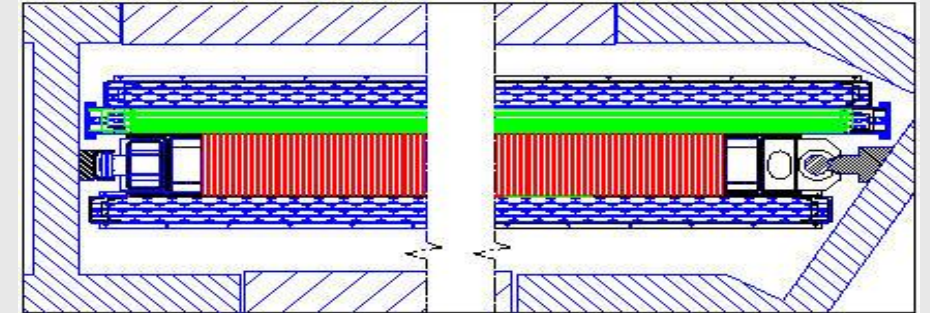
MT=Tmax independent on the track angle and position

Luz verde para la producción tras los testbeams de los años 1999 y 2000 con el prototipo Q4 (papel relevante del grupo del CIEMAT).

4 Layers = 1 Superlayer (SL)



Φ SL
 θ SL
Honeycomb
 Φ SL



Tmax: < 400 ns
Drift Velocity : ~ 55 $\mu\text{m}/\text{ns}$

Single Wire Resolution : < 300 μm

➔ 100 μm Φ
150 μm Θ

GAS: Ar/CO₂ (85/15)

HV: Wires 3600 V
Strips 1800 V
Cathodes -1200 V

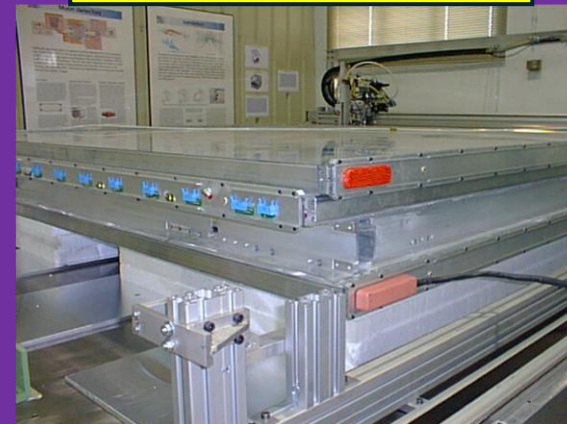
La contribución del CIEMAT a la construcción de cámaras de CMS (L. Romero, ...)

Fase 2: Preparación fabricación en serie y producción de 70 cámaras en el CIEMAT



**La primera MB2
CIEMAT 2001**

La validación de todo el proceso de producción de cámaras se consiguió tras la fabricación de la primera cámara de muones de CMS cuyo montaje mecánico se completó en el CIEMAT en el año 2001.



La contribución del CIEMAT a la construcción de cámaras de CMS

Fase 3: Pruebas, envío al CERN, pruebas en el CERN, e instalación en el detector (M.C. Fouz, J. Puerta, ...)



Ensayo de instalación de la primera MB2 (C.Burgos, J. Yáñez, ...)



Concluyendo ...

- CIEMAT debía participar activamente, desde el primer momento, en la preparación de un experimento para el LHC

Tras la decisión del CERN sobre las LOI's propuestas, CMS era la opción más lógica

- Debíamos intentar que nuestra contribución a la construcción del detector fuera muy visible

El detector central de muones se adecuaba perfectamente a nuestras posibilidades

- Teníamos que aprovechar al máximo todos los recursos del CIEMAT

Seguir el ejemplo de L3 involucrando en el proyecto también a otros Departamentos



Francisco Martín Suárez



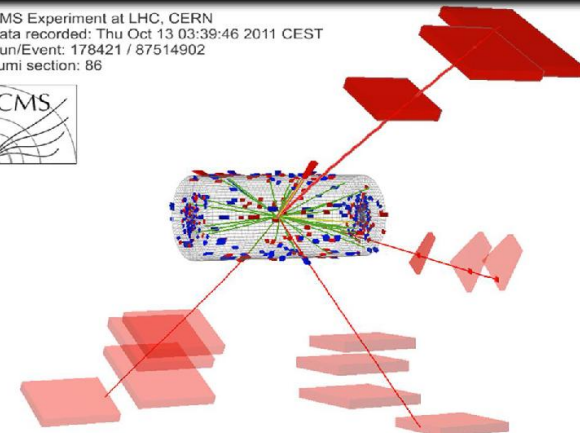
José Javier Navarro Martín



Ciema

Compact Muon Solenoid

CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Thu Oct 13 03:39:46 2011 CEST
Run/Event: 178421 / 87514902
Lumi section: 86



Juan José Martínez Morales



José Pla Molina



Eusebio Sánchez Álvarez



Cuadrado Calzada Sergio



Eduardo Navarro De Martino



Manuel Aguilar Benítez de Lugo



Gaspar López Rodríguez



Concepción Bracha Pérez



Gonzalo Marino Arzavalo



Javier Alvarado Pineda



Daniel Domínguez Vázquez



Carlos Blanco Ramos



Carlos Burgos Lizaso



José Alarcón Vega



María Cepeda Heredia



Nicanor Collino Arriero



Jesús Puente Peláyo



José Miguel Anjido Muñoz



CMS



José Manuel Alarcón Vega



Carlos Villanueva Muñoz



GRACIAS!



José Javier Chercoles Catalán



Manuel Corral Bueno



Enrique Calvo Alamillo



María Chamizo Llatas



José Miguel Barcala Rivera



Juan Alcaraz Maestro



Mara Soragni Soares



Oscar González López



Silvia Goy López



Jesús Martín Muñoz



GRACIAS!



Juan Carlos Oller González



CMS



Juan Carlos Puelles Sánchez



Pablo García Abia



Jesús Salicio Díez



Luis Galicia Saavedra



GRACIAS!



Javier Santisteban Camino



Juan José Rodríguez Vázquez



CMS



CMS



Carlo Battilana



M Isabel Jose Mataberria



Cofreño Yuste de Santos



Manuel Daniel Loal



Miguel Cárdenas Montes



Francisco García Alonso



M. Begoña De la Cruz Martínez



Antonio Delgado Peris



José Manuel Cota Ruiz



M de la Cruz Fouz Iglesias



Jorge Molina



Juan Pablo Fernández Ramos



Juan José Rodríguez Romero



Antonio Ferrando García



Carmen Díez Pardo

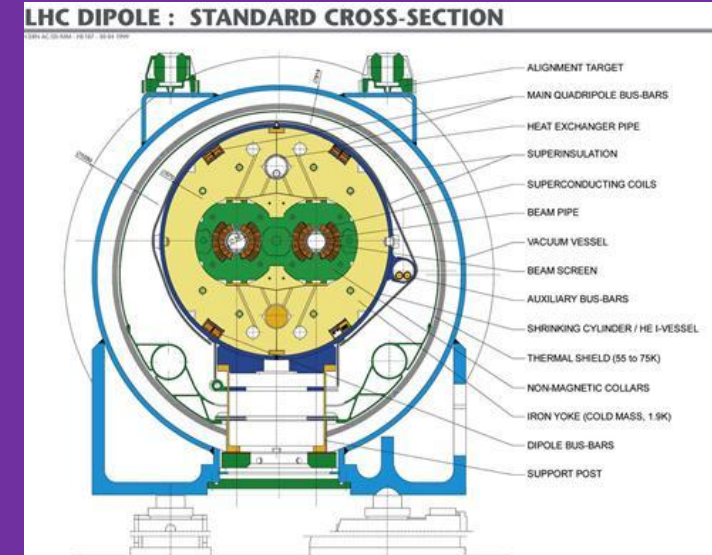


Antonio Pardillo Fortes

BACK-UP

Principales desafíos tecnológicos (para el acelerador)

- The most challenging components are the 1232 high-tech superconducting dipole magnets
- Magnetic field: 8.4 T
- Operation temperature: 1.9 K
- Dipole current: 11700 A
- Stored energy: 7 MJ
- Dipole weight: 34 tons
- Dipole length: 14,3 m
- 7600 km of Nb-Ti superconducting cable



Principales desafíos tecnológicos (para los experimentos)

Luminosidad: $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

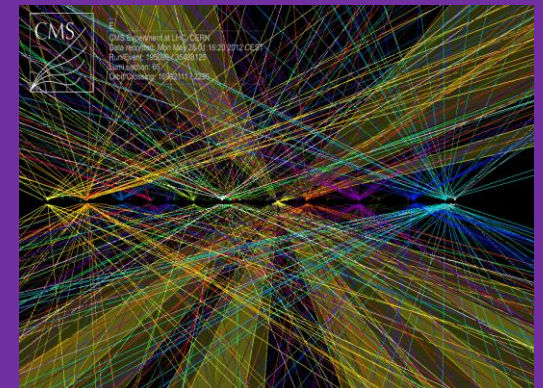
2808 paquetes (bunches) , 10^{11} protones/bunch

Separación entre bunches: 7,5 m

Frecuencia de cruce: 40 MHz

En promedio 20 interacciones por cruce

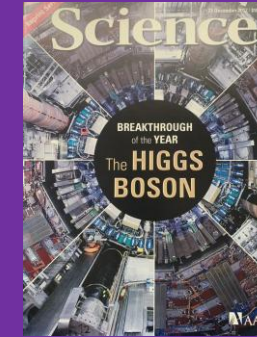
800 Millones de sucesos por segundo



OBJETIVO CIENTÍFICO FUNDAMENTAL DEL LHC

Confirmar o descartar definitivamente la existencia del bosón de Higgs.
Si se confirma, estudiar en detalle sus propiedades.

Descubrimiento del Higgs
julio 2012



Premio Príncipe de Asturias en 2013 a
Francois Englert, Peter Higgs y al CERN



“El descubrimiento del bosón de Higgs constituye un ejemplo emblemático de cómo Europa ha liderado un esfuerzo colectivo para resolver uno de los enigmas más profundos de la Física”



Premio Nobel de Física
2013 a Francois Englert y
Peter Higgs



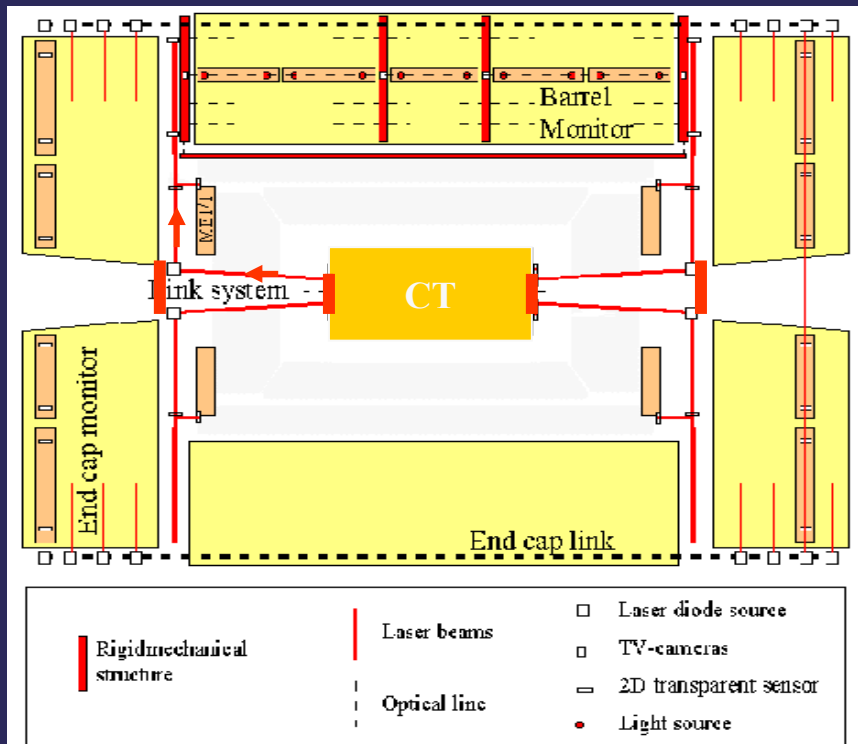
« For the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle by the ATLAS and CMS experiments at CERN Large Hadron Collider »

The Link Alignment System

(C. Burgos, A. Ferrando, E. Calvo, ...)

Main goal:

- Optomechanical system designed to monitor the relative position of the muon chambers with respect to the Central Tracker
- Expected precisions of the order of 100-250 μm .



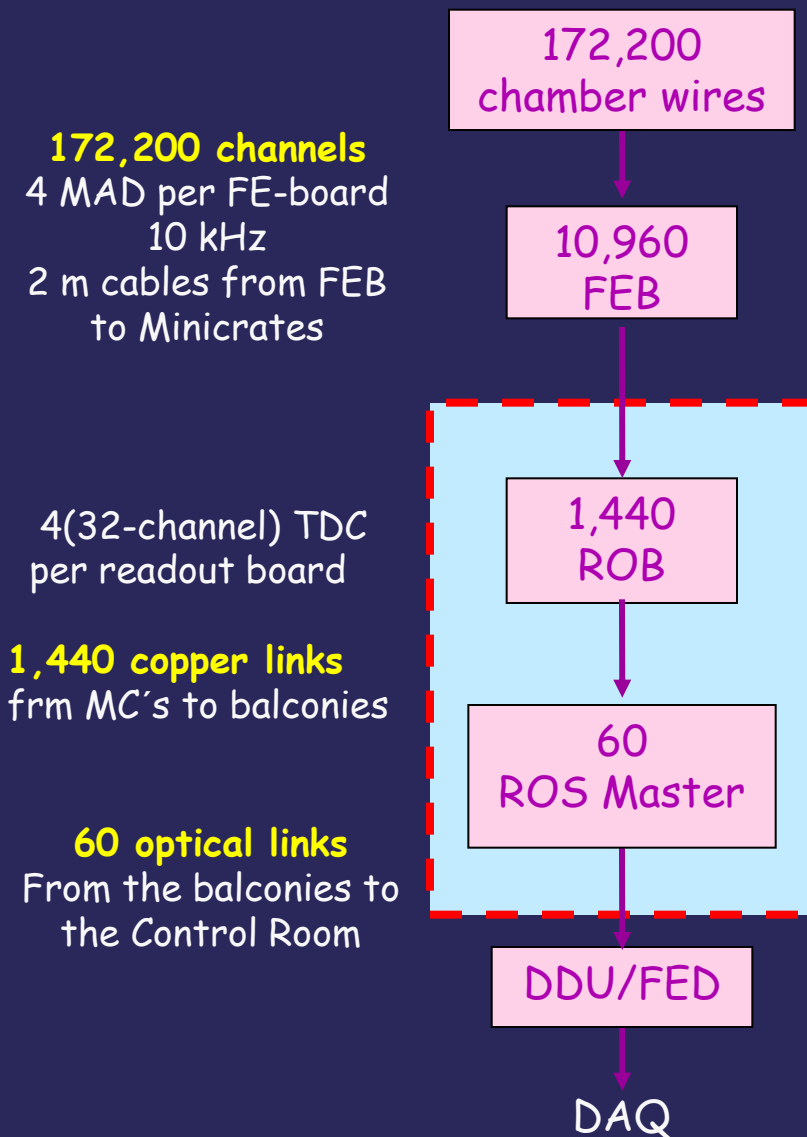
Common effort between CIEMAT and Santander University (ICFA) groups

- System Design
- Mechanical design and fabrication of components
- Electronics DAQ
- Sensor characterization and tests
- Calibration in Optical Lab (ICFA)
- Calibration in ISR at CERN
- Integration in CMS
- γ irradiation tests

Extreme Working Conditions

- Very high magnetic field
- Very high radiation environment

CIEMAT contribution to the chamber electronics (C. Willmott, C.Fernández-Bedoya, ...)



Design and production of (ROB).
 Design and production of (ROS).
 Design and fabrication of Minicrates (MC) mechanics and cabling.
 Assembly of the readout part of the Minicrates (MC).

