



CONTROL DE PLANITUD DE UN BANCO ÓPTICO PARA LA FABRICACIÓN DE CÁMARAS DE DERIVA MULTICAPA PARA EL EXPERIMENTO CMS

MANUEL DANIEL-LEAL¹, BERIT SANDER², LAURI TIMM², JOSE LUIS PÉREZ-DÍAZ²

¹CIEMAT

Avda. Complutense, 22, 28040 Madrid, España

²Universidad Carlos III de Madrid

Dto. Ingeniería Mecánica

Avda. de la Universidad nº30, 28911 Leganés, Madrid, España

(Recibido 15 de julio de 2009, para publicación 1 de septiembre de 2009)

Resumen – Las cámaras de deriva del detector CMS (*Compact Muon Solenoid*) son estructuras modulares apiladas unidas por un adhesivo estructural. Estas cámaras se utilizan para la detección y seguimiento de partículas de alta energía - en particular muones – insertadas en el detector global CMS actualmente en funcionamiento en el Consejo Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN) en Ginebra (Suiza). En el proceso de fabricación en serie de las mismas, es necesario su ensamblado en superficies con una tolerancia de planitud inferior a 0.1 mm variando la carga soportada por estas superficies entre 0 y 90 kN. Cumpliendo estos requisitos se diseñó, modeló y construyó una mesa de precisión con un coste razonable, utilizándose finalmente cuatro unidades para la fabricación de 70 cámaras de deriva en el Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) en Madrid (España). En el presente artículo se muestra el proceso seguido para el diseño de dichas mesas y su optimización. Se estudia la deformación de la mesa sometida a cargas que se incrementan hasta alcanzar su máximo valor, analizando cómo afecta el número de soportes y el efecto de realizar taladros en la misma. Se emplea el producto de la deformación máxima por el costo como parámetro de optimización del diseño.

Palabras clave – Banco óptico, planitud, cámara de deriva, CMS.

1. INTRODUCCIÓN

CMS es un espectrómetro de muones hermético con una gran apertura geométrica recientemente instalado en el LHC (*Large Hadron Collider*) del CERN (Fig. 1). Su excelente resolución en las mediciones de energía y momento de los muones se basa en un diseño mecánico de alta precisión y en un buen control sobre cualquier tipo de distorsión. En concreto, la planitud de las cámaras de deriva debe mantenerse bajo un estricto control. Las cámaras de deriva del detector CMS son estructuras modulares de cuatro tipos (MB1, MB2, MB3, MB4), insertadas en el detector en los distintos sectores en los que se divide, que en su conjunto dan lugar a una estructura de forma cuasi cilíndrica (Fig. 2).

Cada cámara está formada por varias multicapas unidas por adhesivo estructural Araldit 2012 (Fig. 3). Cada multicapa consta de cuatro capas de celdas de deriva, cada una de estas capas está formada por dos planchas de aluminio separadas por vigas I paralelas del mismo material, colocadas perpendicularmente a uno de sus lados. Cada celda de deriva es el volumen comprendido entre dos vigas consecutivas de la misma capa. Las celdas de cada capa están desplazadas la mitad de su anchura, en relación con sus capas adyacentes para reconstruir unívocamente la trayectoria de los muones [1] como se aprecia en la Fig. 4.

La precisión del detector global depende además de la geometría de las cámaras de deriva, de la precisión en el posicionado de las mismas en su interior. Así, la planitud de la cámara de deriva debe ser inferior a 0,2 mm con el fin de cumplir con los requisitos del Experimento CMS [2,3].

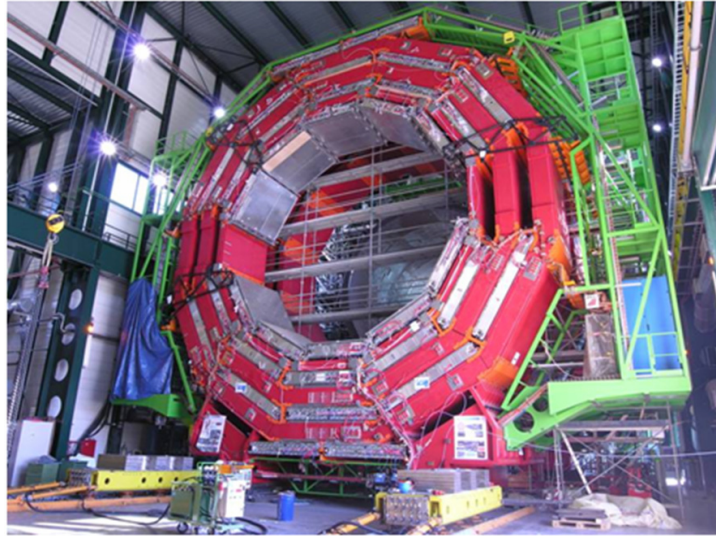


Fig. 1. Vista frontal del detector CMS.

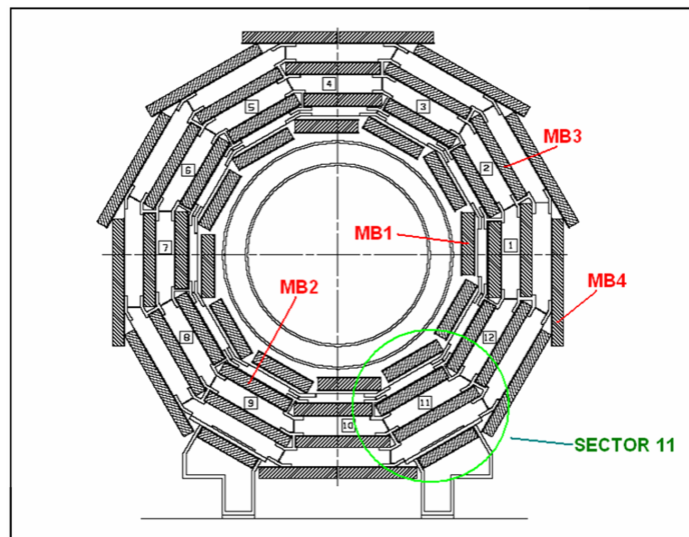


Fig. 2. Distribución sectorial de cámaras de deriva en CMS. MB1, MB2, MB3 y MB4.

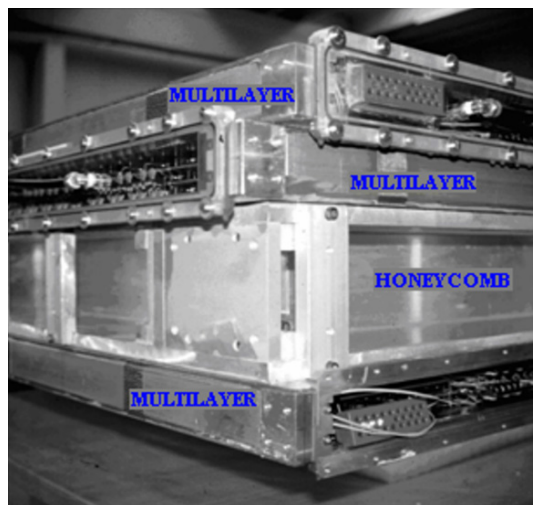


Fig. 3. Cámara de deriva del tipo MB1. Compuesta en su parte superior por dos multicapas perpendiculares entre sí, un panel rigidizador y una tercera multicapa inferior.

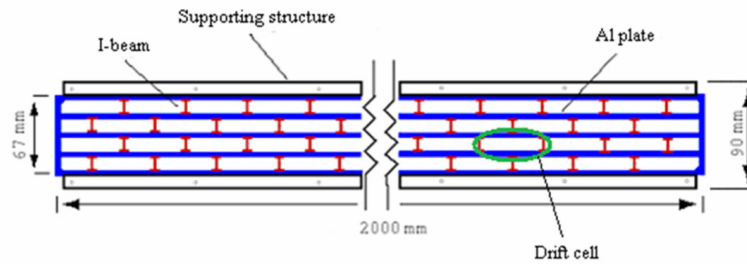


Fig. 4. Sección transversal de una multicapa.

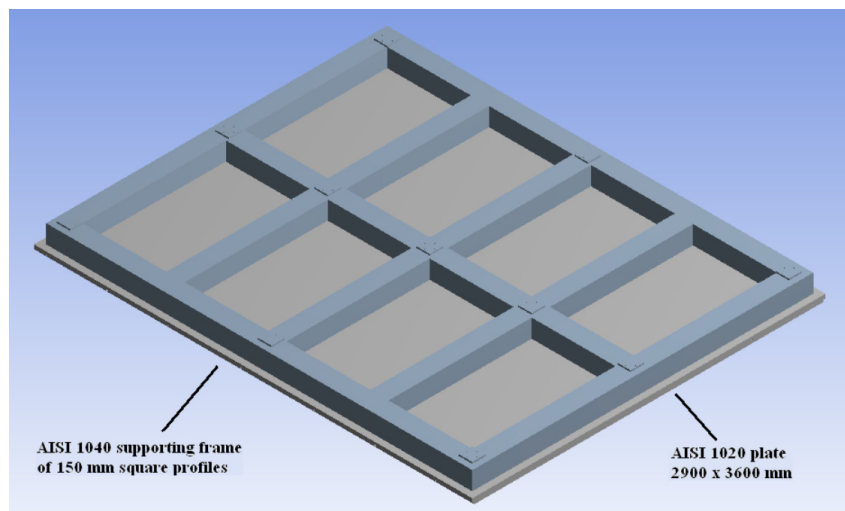


Fig. 5. Vista inferior del banco óptico.

Este documento detalla el diseño y optimización de un banco óptico para la fabricación precisa de cámaras de deriva. Diferentes opciones de diseño fueron evaluadas y comparadas.

2. MODELO DE ELEMENTOS FINITOS Y OPTIMIZACIÓN

El banco óptico se ha modelado y analizado utilizando el método de elementos finitos, Akin 2005 [4] y Rao 2005 [5], para determinar su precisión y planitud. Con el fin de optimizar el diseño, se han simulado seis distribuciones diferentes de los soportes. Además, como es necesario realizar una serie de taladros en la mesa para sujetar diversos útiles en el proceso de fabricación [1], se ha estudiado su influencia.

La mesa está formada por una plancha de acero AISI 1020 de dimensiones 2900 x 3600 x 50 mm, rigidizada por un bastidor soldado a la misma por su cara inferior, constituido por tubos cuadrados de acero AISI 1040 de 150 mm de lado y 5 mm de espesor (Fig. 5).

Se ha creado un modelo de elementos finitos para describir la mesa. Las propiedades de los materiales utilizados en el modelo se pueden encontrar en la base de datos MatWeb, MatWeb AISI 1020 [6] y MatWeb AISI 1040 [7]. Otros parámetros del modelo incluyen apoyos fijos y su localización dependiendo de cada distribución. El peso del banco óptico es de 4600 kg. Se ha establecido para la realización de los cálculos un tamaño de malla de 0.05 m. Todas las simulaciones se han efectuado a una temperatura ambiente de 22°C. Para estudiar el comportamiento en condiciones de máxima carga se ha utilizado una presión estática de 8620.7 Pa que corresponde a 9100 kg, peso máximo soportado por la mesa en el proceso de fabricación (cámara de deriva + útil de ensamblado) [1].

La planitud total del banco óptico debe ser inferior a 0.15 mm durante la producción. Como la planitud inicial, cuando la mesa permanece sin carga, es de 0.05 mm, la deformación máxima debe permanecer por debajo de 0,10 mm para lograr la planitud requerida.

Desde la Fig. 6 a la Fig. 11 se muestran las deformaciones de la mesa para cada distribución analizada. En todos los gráficos obtenidos se observan las deformaciones asociadas a diferentes colores (ver escala). Las áreas con una deformación superior a la planitud requerida están indicadas en rojo y las cercanas a la misma están marcadas con color naranja o amarillo. Los colores verde y azul indican deformaciones muy por debajo del límite requerido.

Observando las Figuras 6, 7 y 8 vemos que con las distribuciones de 5, 6 y 7 soportes se supera significativamente la máxima deformación admisible. Así, la deformación máxima para 5 soportes es de 0,25 mm. En las distribuciones con seis y siete soportes se producen deformaciones máximas del mismo orden de magnitud, 0,27mm y 0,18 mm respectivamente. Aumentando el número de soportes a ocho y nueve, las deformaciones máximas obtenidas son considerablemente menores: 0.082 mm y 0.074 mm, respectivamente (Figuras 9 y 10). Además, como se puede verse en la Fig. 11, la menor deformación máxima se logra con once soportes: 0.044 mm.

De acuerdo con estos resultados, la utilización de entre cinco y siete soportes no es suficiente para garantizar la planitud requerida, mientras que con distribuciones de ocho, nueve y once soportes queda totalmente garantizada. A pesar de la notable mejora de la planitud de la mesa al aumentar el número de soportes, hay que tener en cuenta el incremento en el costo de su diseño.

Por lo tanto, para seleccionar la distribución óptima de soportes, se introdujo un parámetro de diseño adicional. Este parámetro se obtiene multiplicando la deformación máxima por el costo de los soportes, obteniéndose una estimación de la eficiencia de cada distribución. El inverso de este producto lo denominamos "factor de eficiencia".

Con la concurrencia de menor deformación máxima y menor coste se obtiene un factor de eficiencia más alto y, por lo tanto, una configuración más rentable del banco óptico. En la Tabla 1 se muestran las diferentes distribuciones y el número de soportes de cada una de ellas, así como los resultados de las simulaciones, el precio de los soportes y el factor de eficiencia correspondiente a cada distribución.

El diseño óptimo se obtiene con el mínimo valor del costo y de las deformaciones, Por tanto la distribución más adecuada viene dada por el mayor factor de eficiencia. La Tabla 1 indica que el diseño óptimo consiste en la distribución con once soportes que proporciona una planitud de 0.044 mm, inferior a la requerida: 0.1 mm.

Además del análisis del sistema de soportes, se estudia la influencia de los taladros realizados en la superficie de la mesa anteriormente mencionados. Teniendo en cuenta los 120 taladros de 10 mm de diámetro en el modelo de elementos finitos, obtenemos una variación de la deformación máxima inferior a 0,001 mm. Cambiando en el modelo el diámetro de los taladros de 10 mm a 40 mm se alcanzan resultados similares - los cambios en la deformación máxima son del mismo orden que la precisión del resultado. Por lo tanto, podemos concluir que la presencia y el tamaño de los agujeros no afectan significativamente a la planitud de la mesa.

El banco óptico con once soportes ha sido fabricado por la empresa Nortemecánica S.A. [8] de acuerdo con el diseño optimizado. Cuatro de estas mesas han sido utilizadas en el proceso de fabricación de 70 cámaras de deriva en el CIEMAT (Madrid). Estas cámaras se instalaron en el detector CMS del LHC del CERN habiendo superado un estricto control de calidad [1].

3. CONCLUSIONES

Se ha diseñado y modelado un banco óptico con una relación calidad/coste óptima. Cuatro unidades han sido fabricadas y utilizadas para el montaje de cámaras de deriva en el CIEMAT de Madrid (España). Se han estudiado la deformación máxima de la mesa bajo carga, con diferentes distribuciones de sus soportes y el efecto sobre la misma de 120 taladros en su superficie encontrando la relación tanto de la deformación como del coste con el número de soportes.

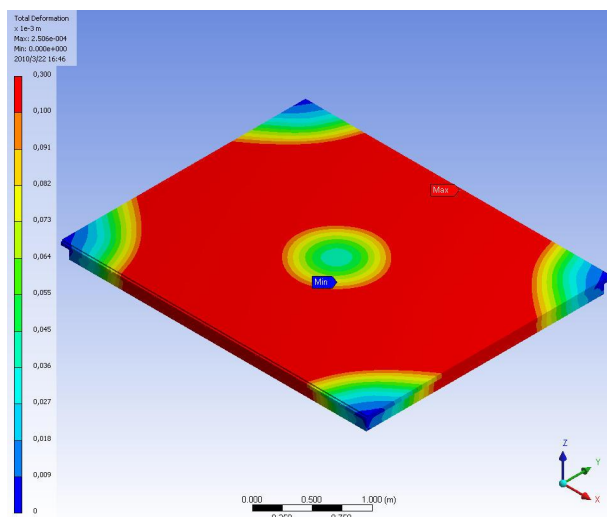


Fig. 6. Deformación obtenida con cuatro soportes.

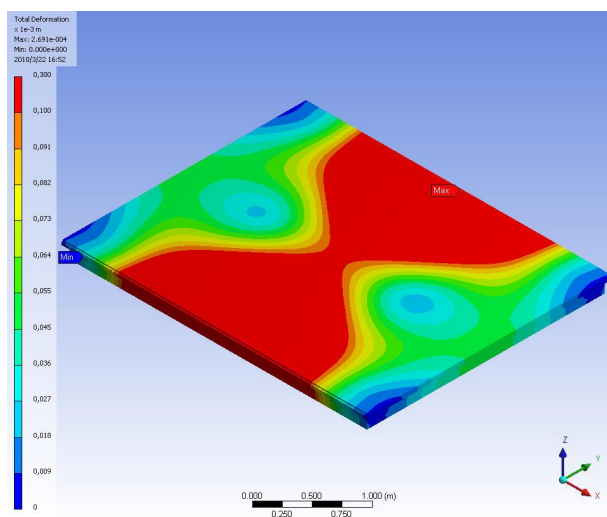


Fig. 7. Deformación obtenida con seis soportes.

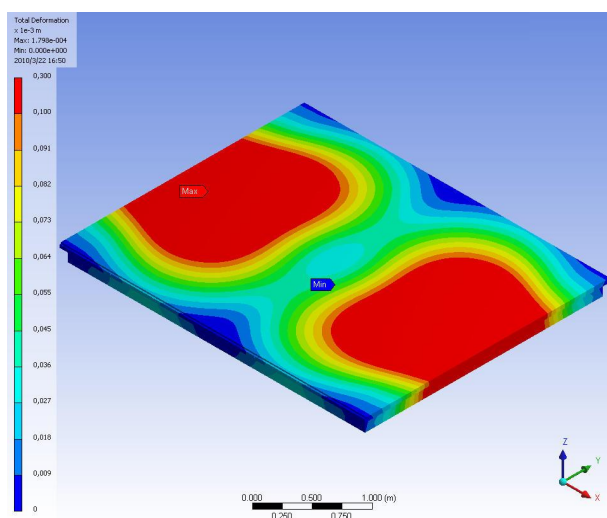


Fig. 8. Deformación obtenida con siete soportes.

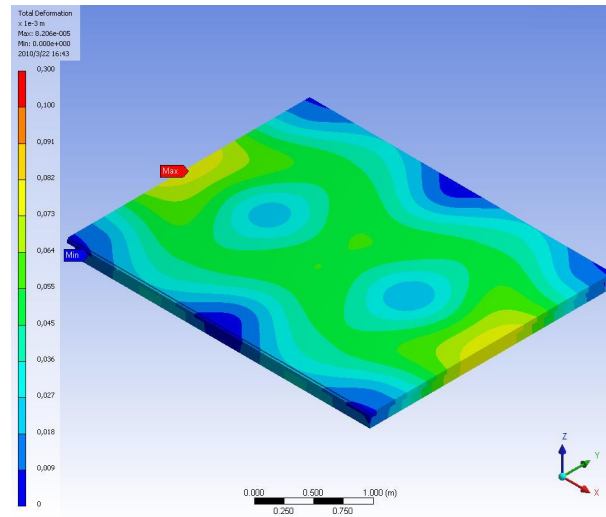


Fig. 9. Deformación obtenida con ocho soportes.

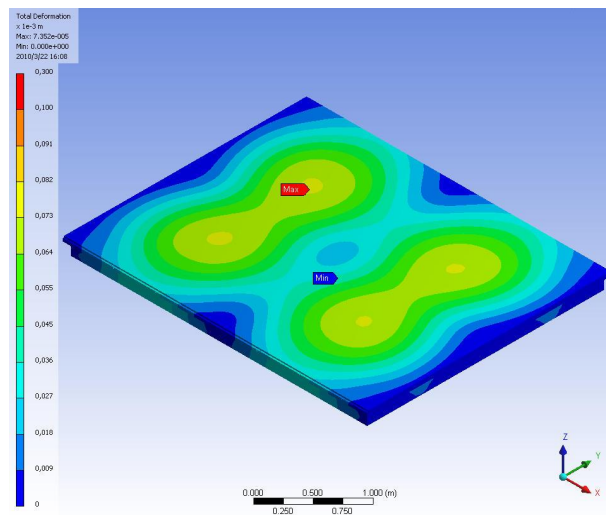


Fig. 10. Deformación obtenida con nueve soportes.

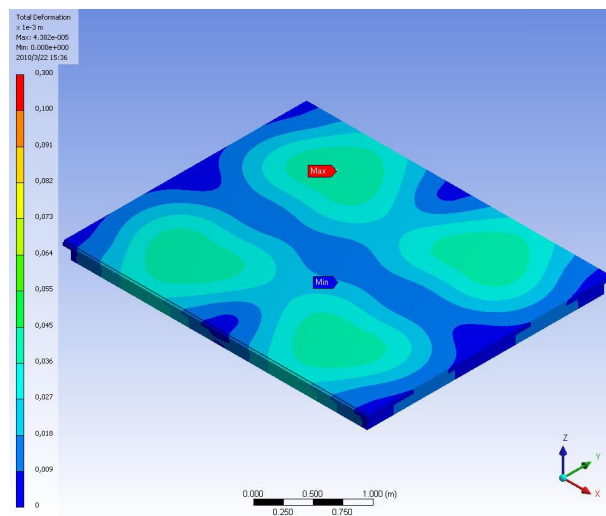

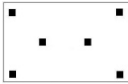
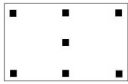
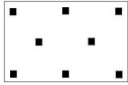
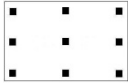
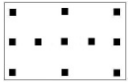


Fig. 11. Deformación obtenida con once soportes.

Tabla 1. Resultado de la simulación para diferentes distribuciones de soportes.

Nº	Distribución	Nº de soportes	Planitud (Max. Deform.) (mm)	Tensión (MPa)	Precio (Euros)	Factor de Eficiencia
1		5	0.25	93.3	762	0.0052
2		6	0.27	66.6	914	0.0041
3		7	0.18	89.5	1066	0.0052
4		8	0.082	55.6	1218	0.0100
5		9	0.074	49.9	1371	0.0099
6		11	0.044	38.9	1675	0.0136

Aunque no es estrictamente necesario, se utilizaron 11 soportes para mejorar en gran medida la precisión de la mesa. La Tabla 1 ofrece una guía que puede ser empleada en general por cualquiera que necesite garantizar una planitud bajo carga en un banco óptico.

La presencia de los taladros es poco significativa para la planitud de la mesa a pesar de llegar a realizar 120.

En el caso del diseño de 11 soportes empleado en el CIEMAT puede garantizarse que la planitud final de la mesa es inferior a 0.044 mm para el rango de carga para el rango de carga prevista y en toda su superficie: 2,9 mx 3,6 m.

REFERENCIAS

- [1] Daniel Leal, M., "Optimización de la Fabricación y Verificación de Cámaras de Deriva para Experimentos de Física de Partículas", Tesis Doctoral, UC3M, Octubre 2009
- [2] The CMS Collaboration, The Compact Muon Solenoid, Technical Proposal, CERN/LHCC/94-38, LHCC/P1, December 1994
- [3] The CMS Collaboration, The Muon Project, Technical Design Report, CERN/LHCC/97-32, CMS TDR, December 1997
- [4] Akin, J.E., *Finite Element Analysis with Error Estimators*, Elsevier ISBN: 978-0-7506-6722-7 (2005)
- [5] Rao, S.S., *The Finite Element Method in Engineering*, Elsevier, ISBN: 978-0-7506-7828-5 (2005)
- [6] MatWeb AISI 1020
<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=3e8a4ed96e5f4f16923ec21e95b69>
June 14th 2009
- [7] MatWeb AISI 1040

<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=689e75eb19f4417a93c3a8da240a7d4e>

June 14th 2009

[8] Nortemecánica S.A., <http://www.nortemecanica.es>.

FLATNESS CONTROL OF AN OPTICAL TABLE FOR MANUFACTURING MULTILAYERED DRIFT CHAMBERS FOR THE COMPACT MUON SOLENOID EXPERIMENT

Abstract - Drift chambers in the Compact Muon Solenoid (CMS) detector are piled modular structures joined together by structural adhesive. These structures are used for the detection and tracking of high energy particles –particularly muons– in the global CMS detector in operation at the European Council for Nuclear Research (CERN) in Geneva. The structures must be assembled on a surface with flatness tolerance lower than 0.1 mm during the whole manufacturing process. During this process the load applied to the table increases from 0 to 90 kN. A cost-effective precision table has been designed, modeled, built and finally used for the manufacturing of 70 drift chambers at CIEMAT in Madrid (Spain). The deformation of the table under the increasing load of the chambers is studied and different configurations for the position and number of legs are analyzed and compared in order to optimize the design.

Keywords – Optical table, Flatness, Drift chamber, CMS.