



TITULO

**Informe del Control Dimensional de las
Vigas Arco de la Cúpula**

Código : RPT/EDIF/0371-R
Edición : 1.A
Fecha : 06/09/2012
Nº de pág. : 17

Gran Telescopio de Canarias, S.A.

Instituto de Astrofísica de Canarias
Vía Láctea s/n
38200 - LA LAGUNA, TENERIFE, Islas Canarias
Tfno +34 922 315 031 Fax +34 922 315 032

Centro Común de Astrofísica de La Palma
Cuesta de San José s/n
38712 BREÑA BAJA, LA PALMA, Islas Canarias
Tfno +34 922 425 720 Fax +34 922 425 701

Preparado por	Benjamin Siegel Grupo Desarrollos	Firmado en el original
Autorizado por	Pedro Álvarez Director Fecha: 12/09/12	Firmado en el original

INDICE

1. RESUMEN.....	4
2. EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	4
3. CONTROL DIMENSIONAL DE LAS VIGAS ARCO.....	5
3.1 SISTEMA DE COORDENADAS	5
3.2 ESTACIONAMIENTOS	6
3.3 PROCESADO DE LOS DATOS BRUTOS.....	6
4. MOVIMIENTO AXIAL DE LAS VIGAS ARCO	12
5. RESULTADOS	13
5.1 CONTROL DIMENSIONAL	13
5.2 MOVIMIENTOS AXIALES VIGAS ARCO.....	16
6. ANEXOS.....	17

1. RESUMEN

El presente documento recoge el proceder y los resultados del control dimensional de las vigas arco de la cúpula, realizados en verano del 2012. El control dimensional tenía como objetivo determinar las oscilaciones axiales y radiales completas de ambas vigas, así como la variación de la distancia axial entre vigas arco al abrir y cerrar la compuerta grande.

Los datos del control dimensional se comparan con mediciones realizados hace varios años obtenidas igualmente con la estación total aunque sin cubrir todas las vigas arco por falta de acceso y sin relacionar una viga con la otra. Las mediciones de la estación total se contrastan con los registros de los sensores axiales montados en los extremos de la compuerta grande.

2. EQUIPOS DE MEDICIÓN

Para todas las mediciones se utilizó la estación total Leica TDA 5005 en combinación con un retroreflector y una base magnética en caso del control dimensional de las vigas arco. Midiendo el movimiento axial de las vigas arco al abrir y cerrar la compuerta grande se utilizaron dianas adhesivas en vez del retroreflector.



Imagen 1 Estación total Leica TDA 5005.



Imagen 2 Retroreflector y base magnética colocados en una de las vigas arco.

3. CONTROL DIMENSIONAL DE LAS VIGAS ARCO

3.1 Sistema de Coordenadas

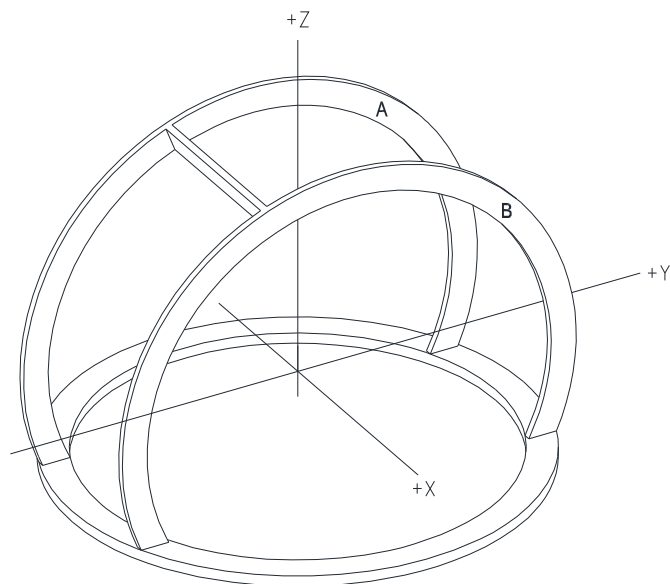


Imagen 3 Sistema de coordenadas aplicado y denominación de vigas. La viga transversal es la viga de cierre de la apertura de la cúpula.

3.2 Estacionamientos

En total se realizaron 4 mediciones estacionando la estación total siempre en el socalo de hormigón de la estación meteorológica. Todas las mediciones se realizaron promediando entre las dos caras de la estación total.

- Medición 1 Viga A o dcha, cúpula en 205°. Esta medición se empezó por la parte trasera subiendo con la Palazzani hasta la última plataforma de mantenimiento de la cúpula pasando el reflector a otro operario que siguió por el resto de la viga.
- Tanto esta medición así como la correspondiente de la viga B se llevaron a cabo primero ya que determinan la ubicación de los puntos de medición (la visibilidad al rail a través de las tapas laterales del canal de cadenas es más reducida).
- Medición 2 Viga B o izqd, cúpula en 55,73°. Durante el marcado de los puntos de medición la cúpula estaba supuestamente en 55,8°. Durante la medición estaba en 55,73°. Aunque es poca la diferencia la visibilidad a algún punto de medición se puede perder.
- Esta medición se realizó de igual manera que la primera.
- Medición 3 Zona posterior ambas vigas, cúpula en 270°. Se empezó en la parte alta de la viga B, justo por de tras de la compuerta, bajando hasta la última plataforma de mantenimiento donde se pasó el reflector a un operario ubicado en la Palazzani. Desde este punto de bajó hasta el extremo de la viga B pasando finalmente a la viga A barriendo esta en orden inverso.
- Medición 4 Zona delantera ambas vigas, cúpula en 90°, compuerta grande abierta a 70°. Se subió primero la compuerta pequeña a aproximadamente +20° midiendo las zonas descubiertas inferiores accediendo con la Palazzani. Seguidamente se bajó la compuerta pequeña a aproximadamente -9° midiendo las zonas de las vigas arco comprendidas entre las dos compuertas.

3.3 Procesado de los Datos Brutos

Todos los datos brutos se unieron en un único fichero Excel (véase anexo, CD-Vigas-Arco-2012-08-20-23-4med.xlsx) cuyo contenido se explica a continuación.

En la hoja de cálculo las mediciones o estacionamientos están distribuidas por filas y el tratamiento de datos está distribuido por columnas.

Las celdas de datos no existentes por falta de visibilidad se marcan en color salmón.

Estacionamientos

- Medición 1 Filas 1-96
- Medición 2 Filas 101-187
- Medición 3 Filas 191-277
- Medición 4 Filas 281-367

Tratamiento Datos

Columnas C-J	Datos brutos obtenidos con la estación total
Columnas L-S	Datos de las mediciones girados de tal manera que el eje X está paralelo al eje definido por las vigas arco, el eje Y apunta desde dentro hacia fuera a través de la compuerta en sentido horizontal, el eje Z apunta hacia el cenit. Este giro de coordenadas es un giro aproximado, sin optimización.
Columnas U-AB	Las coordenadas giradas del conjunto anterior de columnas se desplazan para que el origen se coloque entre las dos vigas y en el eje de las mismas. Los desplazamientos son aproximados tomando como referencia, según la medición, puntos aislados; sin optimización.
Columnas AE-AN	Aquí se corrigen los off-sets del prisma. Hay cuatro posibilidades de pegar la base magnética al rail, radial superior, radial inferior, axial superior y axial inferior. La referencia común de todos es la cuerda central del rail (60x60 mm).

Los off-sets se muestran en la siguiente figura:

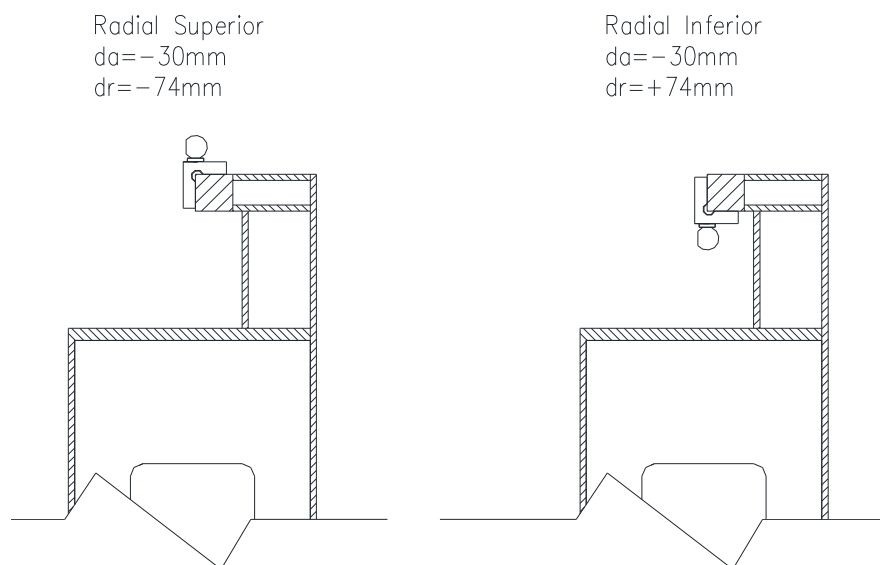


Imagen 4 Off-sets para las posiciones radial superior y radial inferior respecto a la cuerda central del rail.

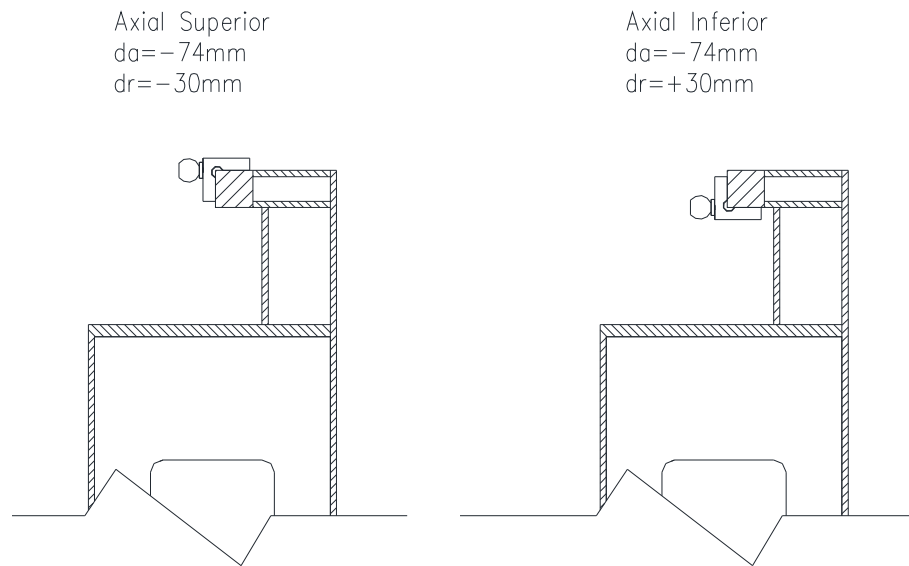


Imagen 5 Off-sets para las posiciones axial superior y axial inferior respecto a la cuerda central del rail.

En las tablas, los off-sets se tiene en cuenta de la siguiente manera:

$$d_x = d_a$$

$$d_y = d_r \cdot \frac{y}{\sqrt{y^2 + z^2}}$$

$$d_z = d_r \cdot \frac{z}{\sqrt{y^2 + z^2}}$$

Columnas AX-BE En estas columnas se casan todas las medidas por mínimos cuadrados. Para ello se suman los cuadrados de las diferencias entre puntos comunes de diferentes mediciones.

Se puede determinar cuál de las mediciones se mantiene quieta y cuáles se mueven (se dejó quieta la medición 3 por mejor resultado).

La celda AW10 tiene que tener un mínimo cambiando las celdas AQ8 a AT13 (traslaciones y rotaciones de las mediciones). Las rotaciones sobre el eje X, es decir el eje de las vigas arco, se bloquea.

El solver hay que activarlo tres veces para que llegue al resultado óptimo.

Las ecuaciones aplicadas son las siguientes:

$$x' = x + dx + z \cdot \text{roty} - y \cdot \text{rotz}$$

$$y'=y+dy-z*\text{rotx}+x*\text{rotz}$$

$$z'=z+dz+y*\text{rotx}-x*\text{roty}$$

Éstas son válidas para rotaciones muy pequeñas, lo cual se cumple ya que los puntos se encuentran lejos del centro de giro (centro de la cúpula).

El promedio de la repetibilidad indica la desviación media de puntos comunes tras la boda (véase también descripción columnas BH-BO).

Columnas AY-BF Transformación de las coordenadas cartesianas en cilíndricas.

Columnas BH-BO Resultado de la boda múltiple usando promedios para puntos que aparecen en más de una medición (hasta la fila 96).

En las mismas columnas a partir de la fila 97 en adelante se pueden ver los valores para la repetibilidad de las medidas. Lo que se calcula es la diferencia de posición de puntos entre una medición y otra. Solo se tiene en cuenta diferencias en sentido radial y axial, el sentido tangencial se desprecia ya que es muy influenciado por la colocación de la base magnética.

La fórmula aplicada es la siguiente:

$$\sqrt{\left(\sqrt{y_1^2 + z_1^2} - \sqrt{y_2^2 + z_2^2}\right)^2 + (x_1 - x_2)^2}$$

Es la raíz de la suma cuadrática de la diferencia en radio y de la diferencia axial.

Sin embargo, los números no solo contienen la repetibilidad entre mediciones sino también los errores de la boda de datos.

Columnas BR-BV (hasta la fila 46) Aquí se calculan el mejor plano entre ambas vigas, las oscilaciones axiales de cada viga a este plano y la variación de la distancia axial entre vigas. También se calculan las oscilaciones radiales de cada una de las vigas considerando un eje común perpendicular al mejor plano pero con diferentes radios para cada una de las vigas.

Para obtener los resultados hay que minimizar la celda BS25 cambiando las celdas BS15-BS18 y a continuación la celda BS43 cambiando las celdas BT37, BT38, BT40 y BT41.

Columnas BX-CE Muestran las coordenadas respecto al mejor plano común.

Columnas CG-CK Oscilaciones axiales respecto al sistema de coordenadas definido (centro de la cúpula) y variación de la distancia axial entre ambas vigas.

Columnas CM-CP Oscilaciones radiales.

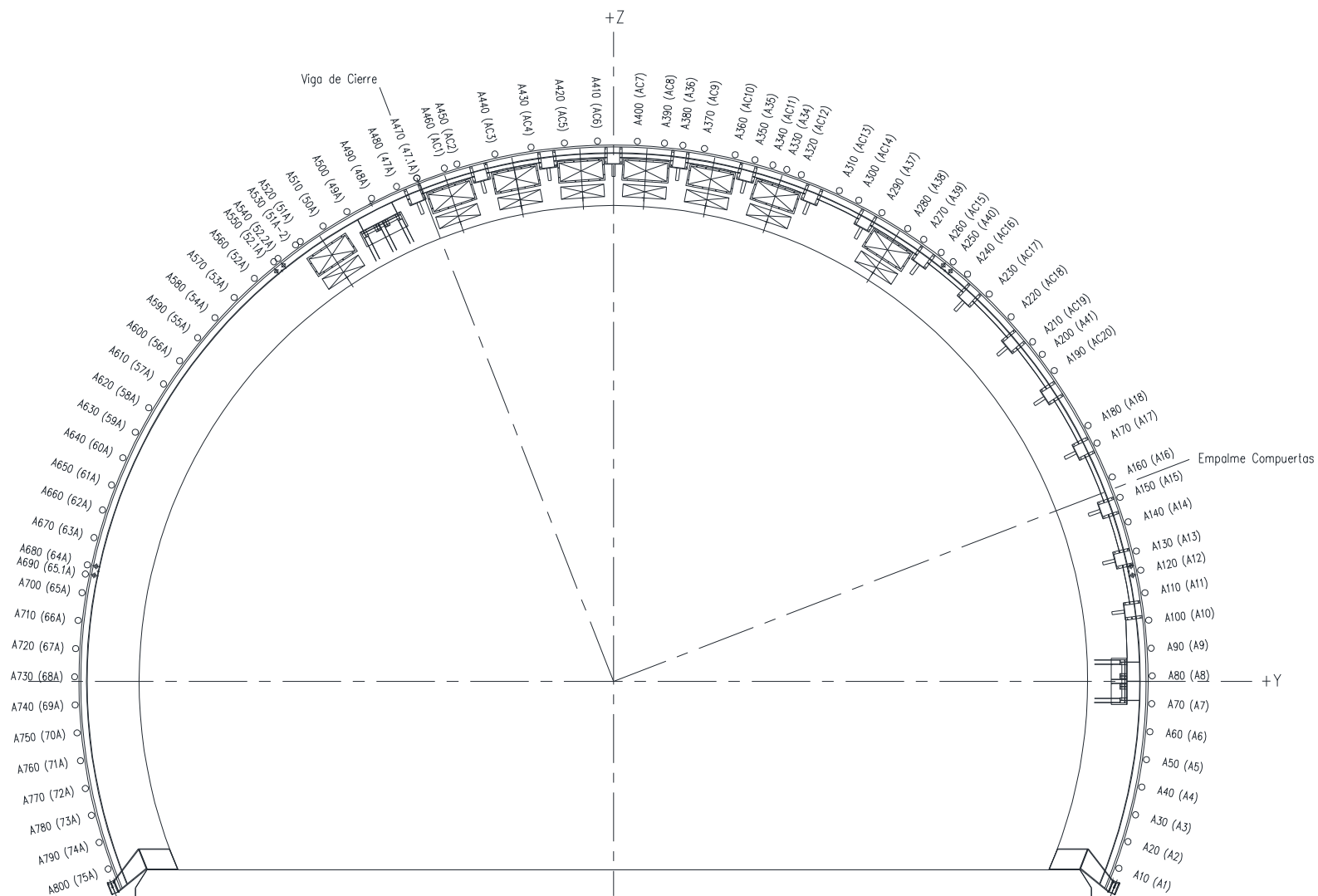


Imagen 6 Puntos de medición en la viga A (dcha). Los códigos corresponden a los de las tablas Excel, los en paréntesis corresponden a la marcación hecha encima de la viga.

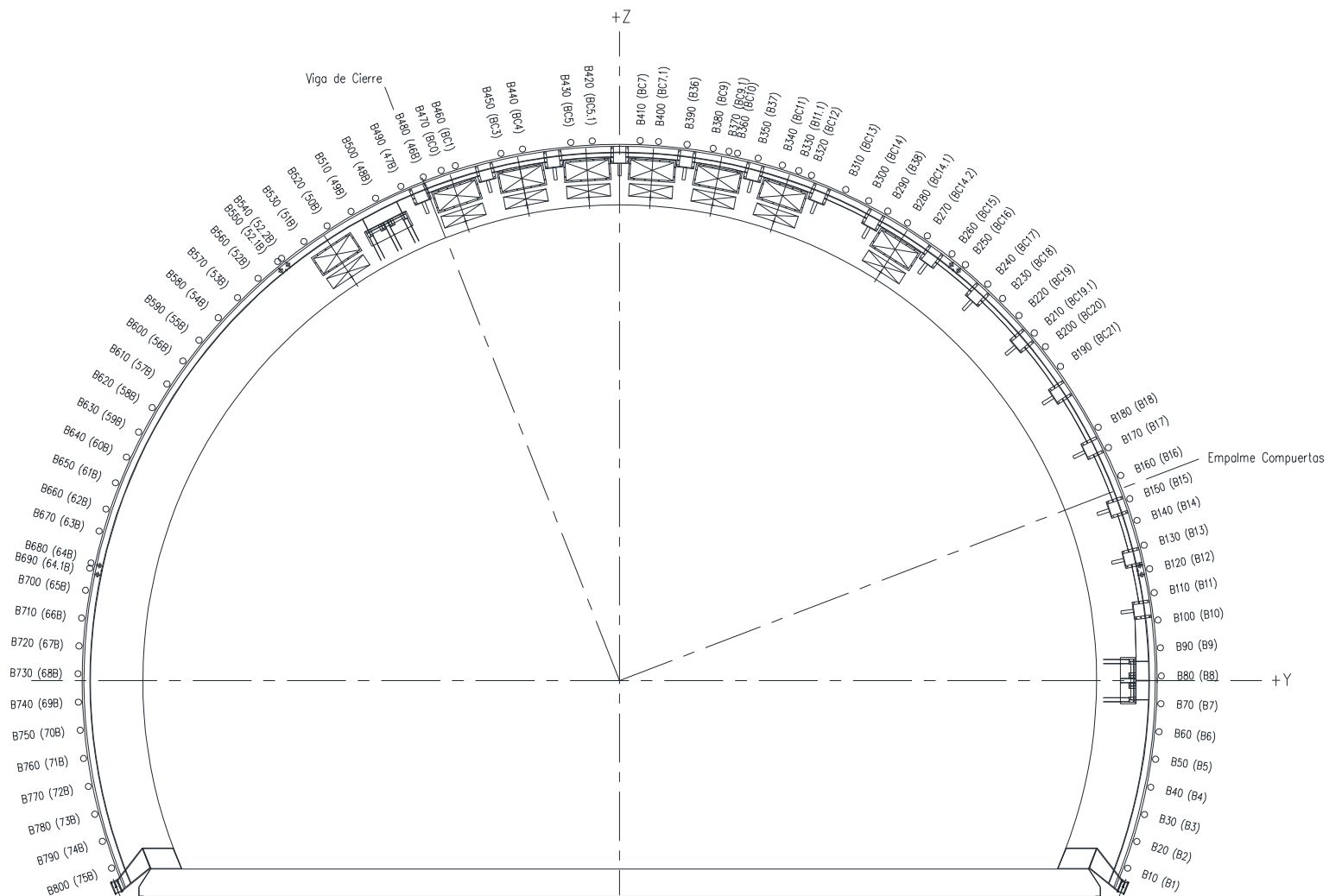


Imagen 7 Puntos de medición en la viga B (izqd). Los códigos corresponden a los de las tablas Excel, los en paréntesis corresponden a la marcación hecha encima de la viga.

4. MOVIMIENTO AXIAL DE LAS VIGAS ARCO

Objetivo de esta verificación era medir el movimiento axial de las vigas arco al abrir y cerrar la compuerta grande. Para ello se pegaron 20 dianas en la cara interior de la cúpula a lo largo de la apertura, desde el embate de las compuertas hasta el extremo superior. Las dianas se pegaron a pocos centímetros de la apertura y a una distancia de aproximadamente 3 a 4 metros.

La estación total se colocó en la plataforma interior de la cúpula entre los raíles de extracción del secundario. El telescopio estaba en posición vertical con las plataformas Nasmyth enfrentadas a los salientes de la plataforma de la cúpula.

Se midieron las coordenadas con la compuerta cerrada, a 35° y a 70° calculando la variación en la distancia entre puntos opuestos.

La Imagen 8 muestra la ubicación aproximada de los puntos de medición.



Imagen 8 Ubicación aproximada de las dianas.

5. RESULTADOS

5.1 Control Dimensional de las Vigas Arco

Durante las mediciones se determinó la repetibilidad de medición comparando las coordenadas de algunos puntos tomadas en diferentes momentos del tiempo. La repetibilidad obtenida es algo mejor que 3mm atribuyéndose a movimientos térmicos de la cúpula y del trípode a lo largo de las mediciones que duraron hasta 2,5 h. También tenía influencia la distancia entre estación total y puntos de medición superando los 100m así como el centelleo térmico del aire.

De todas maneras no se considera un valor preocupante ya que supone en todos los casos menos de un 20 % de la oscilación total.

Los resultados están resumidos en la Tabla 1. Las oscilaciones axiales se refieren al mejor plano común de las dos vigas arco (véase plano Y-Z en Imagen 9). Las oscilaciones radiales se refieren a un eje común que es perpendicular al mejor plano considerando un radio individual para cada viga arco. Los desarrollos de las oscilaciones a lo largo de las vigas se muestran en Gráfico 1 a Gráfico 3. Estos gráficos llevan superpuesto los resultados de un control dimensional llevado a cabo hace tiempo mostrando perfiles similares y con ello la fiabilidad de los datos.

[mm]	Viga A	Viga B
Oscilación axial	32	17
Máxima variación axial entre ambas vigas	40	
Distancia media entre vigas (cuerdas centrales)	13058	
Oscilación radial	29	41
Radio medio (cuerda central del rail)	17343	17351

Tabla 1 Resumen oscilaciones para ambas vigas arco.

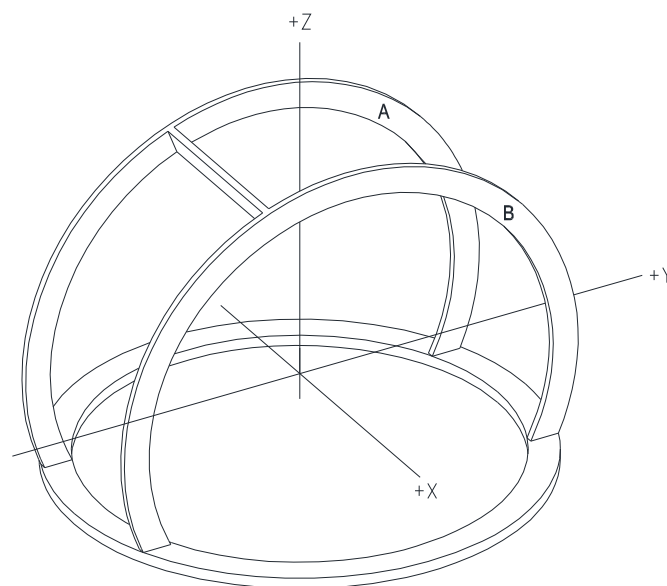


Imagen 9 Sistema de coordenadas aplicado. La posición angular se empieza a contar en el eje Y positivo hacia el eje Z positivo (contra reloj mirando desde el lado B).

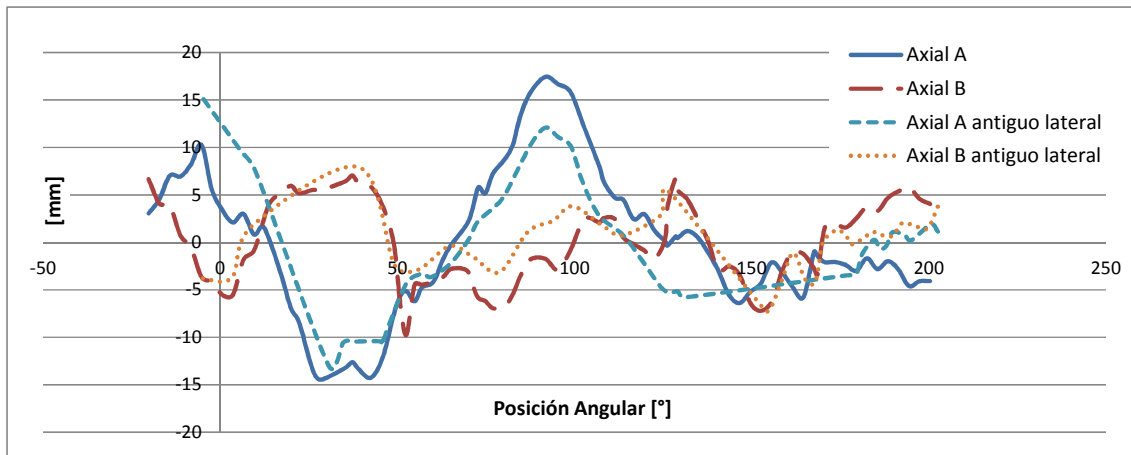


Grafico 1 Oscilaciones axiales ambas vigas.

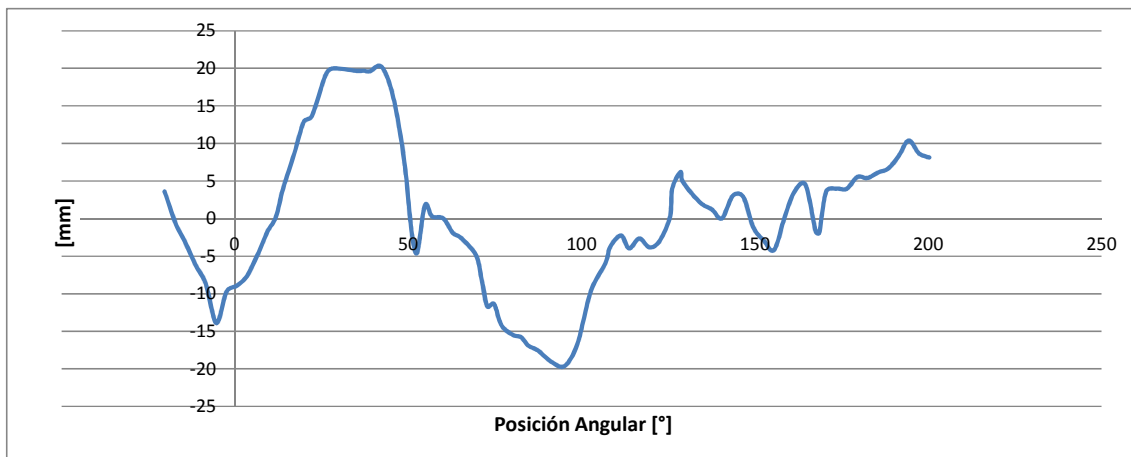


Grafico 2 Variación distancia axial entre vigas (positivo si vigas se abren).

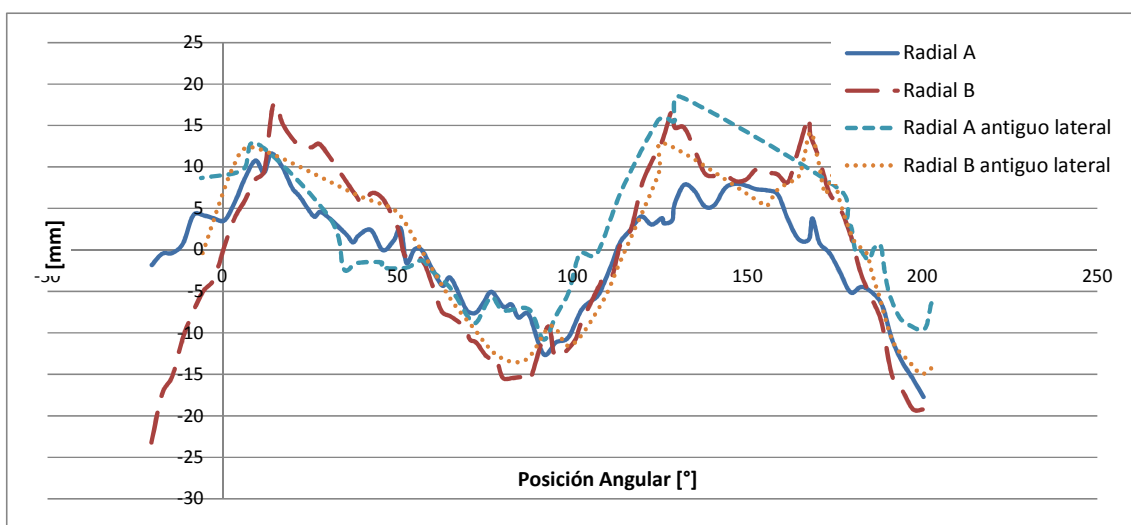


Grafico 3 Oscilaciones radiales ambas vigas.

Las oscilaciones axiales se han contrastado adicionalmente con los registros de los sensores axiales montados en los extremos de la compuerta grande. Sumando los registros de sensores opuestos se obtiene la variación axial entre ambas vigas. Estos datos se compararon con la variación axial obtenida sumando las oscilaciones axiales medidas con la estación total.

Ambos métodos de medición llevan a resultados bastante parecidos siendo la desviación media 2,4 mm en el caso de los sensores inferiores y 2,6 mm en el caso de los sensores superiores. Las desviaciones máximas se elevan a 4,4 mm y 6,1 mm para los sensores inferiores y superiores, respectivamente.

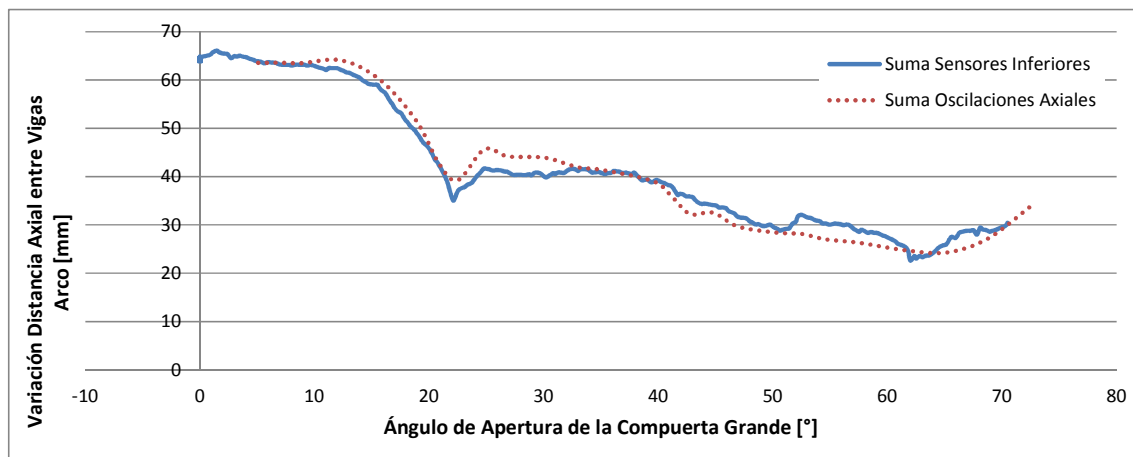


Grafico 4 Comparación de los registros de los sensores axiales inferiores con la variación axial medida con la estación total.

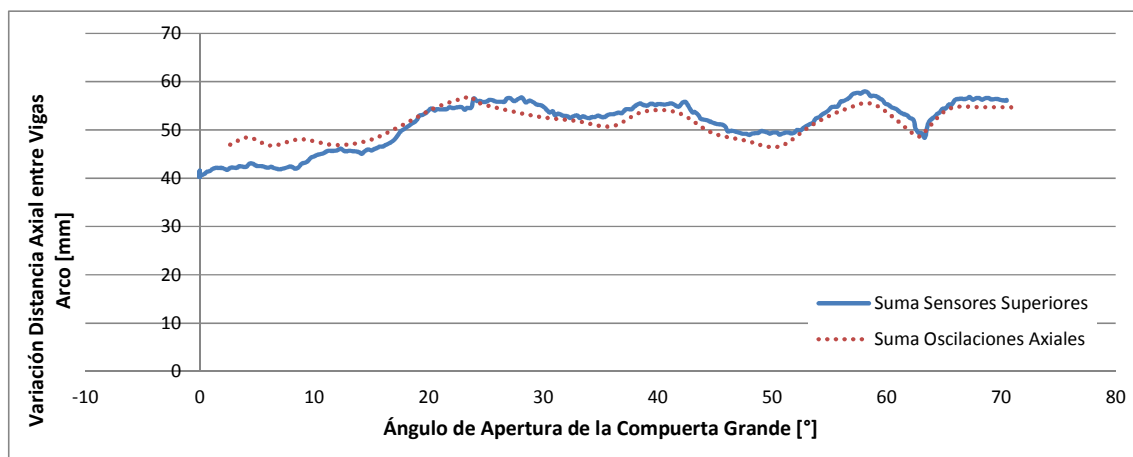


Grafico 5 Comparación de los registros de los sensores axiales superiores con la variación axial medida con la estación total.

5.2 Movimiento axial de las Vigas Arco

La Tabla 2 recoge la variación de la distancia axial entre vigas arco entre posición cerrada (0°), posición intermedia (35°) y posición abierta (70°) de la compuerta grande. Este movimiento se mantiene en cualquier caso por debajo de 4 mm.

Distancia	Variación 0° a 35°	Variación 0° a 70°
A1-B1	0,196	0,063
A2-B2	0,541	1,449
A3-B3	Sin visibilidad.	Sin visibilidad.
A4-B4	0,324	2,758
A5-B5	-0,565	2,492
A6-B6	0,048	3,482
A7-B7	0,303	2,780
A8-B8	0,195	2,046
A9-B9	0,598	1,271
A10-B10	2,171	2,098

Tabla 2 Variación de distancia entre ambas vigas.

6. ANEXOS

Fichero	Contenido
CD-Vigas-Arco-2012-08-20-23-4med.xlsx	Unificación de las 4 mediciones. Cálculo de oscilaciones.
Cúpula-ext-55k73-2012-08-22-m1.xls	Medición #2, viga B lateral.
Cúpula-ext-90-2012-09-04-m1.xls	Medición #4, zona delantera ambas vigas.
Cúpula-ext-119-2012-08-22-m1.xls	Medición #4, zona delantera ambas vigas. Sustituida por Cúpula-ext-90-2012-09-04-m1.xls.
Cúpula-ext-205-2012-08-21-m1.xls	Medición #3, viga A lateral.
Cúpula-ext-270-2012-08-23-m1.xls	Medición #1, zona trasera ambas vigas.
MejorplanovigarailDER1904.xls	Medición antigua viga A. (Para comparaciones)
MejorplanovigarailZQ2104.xls	Medición antigua viga B. (Para comparaciones)
Comparación-Sensores-CD.xlsx	Comparación registros sensores axiales con los resultados del control dimensional.
axialLeftDown.txt	Registros sensor axial izquierdo inferior.
axialLeftUp.txt	Registros sensor axial izquierdo superior.
axialRightDown.txt	Registros sensor axial derecho inferior.
axialRightUp.txt	Registros sensor axial derecho superior.
posicion.txt	Registros ángulo apertura compuerta.
CD-Vigas-Arco-Util-Medicion.dwg	Plano de la base magnética / soporte prisma
Plano viga A	Plano con los puntos de medición en la viga A.
Plano viga B	Plano con los puntos de medición en la viga B.
Movimientos-Vigas-Arco-2012-07-31-v1.xlsx	Registros para la verificación del movimiento lateral (apertura) de las vigas arco.