

LA MECANICA ESTRUCTURAL AL SERVICIO DEL ESTUDIO DE LA MECANICA CELESTE

Sandra I. Robles y Néstor F. Ortega

Departamento de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur
Av. Alem 1253. B8000CPB Bahía Blanca, Argentina. Tel. 54 (0291) 459-5100 Int. 3226
e-mail: nfortega@criba.edu.ar

Resumen

Cuando uno se encuentra ante un telescopio de dimensiones importante, normalmente piensa en las galaxias que se podrán estudiar o en los nuevos planetas, externos al sistema solar, que se podrán descubrir, en otras palabras todo aquello que tiene que ver con las propiedades ópticas del instrumento. Pero no siempre se tiene en cuenta que los espejos y demás equipamientos, están sostenidos por una estructura metálica, que debe cumplir muy estrictos condicionamientos, que de no hacerlo pueden afectar a la calidad de las observaciones. En este artículo se expondrán los requerimientos más importantes que deben considerarse en el diseño de la estructura resistente de los grandes telescopios, por ello es imprescindible recurrir a la Mecánica Estructural.

INTRODUCCIÓN

La principal función de la estructura de un telescopio es la de soportar el sistema óptico, con toda su instrumentación; además debe mantener la alineación y apuntado, mientras esta siguiendo la trayectoria de un objeto astronómico, con extrema precisión. Esto conduce a una situación bastante acotada en la cual se deben evaluar muchas restricciones, respecto de los desplazamientos de la estructura que soporta al instrumental, para evitar aberraciones ópticas, sumado a esto se debe tener en cuenta la complejidad que se origina en el hecho que la estructura es móvil. Además, se debe considerar que la minimización del peso de la estructura, está íntimamente relacionada con la reducción de las inercias térmicas, costo de la estructura y del mecanismo de movimiento, lo que llevaría a tratar de diseñar una estructura de bajo peso. Asimismo, se debe tener presente que para disminuir los desplazamientos, se deberían adoptar estructuras de alto peso. Para salvar esta disyuntiva entre estas dos tendencias contrapuestas se recurre al empleo de la Mecánica Estructural, normalmente, se usan procesos de optimización que consideran en conjunto la influencia de los desplazamientos de la estructura que soporta la óptica y del peso de la misma.

Con el fin de mostrar la resolución de estos problemas, se describirán las experiencias vinculadas al diseño de la estructura metálica móvil de barras, correspondiente a un telescopio de gran diámetro (10 m),

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS GRANDES TELESCOPIOS

En este artículo se analizará mecánicamente la estructura de telescopios de gran diámetro, tal es el caso del Observatorio del Roque de los Muchachos, que fue encargada su construcción en La Palma, Islas Canarias, España, por el Instituto de Astrofísica de Canarias ^{1, 2}. La tipología adoptada es una de las más difundidas en los telescopios de gran diámetro, existiendo otros similares, este es el caso del Observatorio McDonald en Texas cuya construcción culminó en 1997 ^{3, 4} y el que se está terminando de montar en Southerland, Northern Cape, Sud Africa ⁵. Cabe acotar que actualmente se esta proyectando otro telescopio, cuyo diámetro es de 30 m; este proyecto es conocido bajo el nombre de California

Extremely Large Telescope (CELT) ⁴ y la estructura resistente la está realizando un equipo a cargo del mismo diseñador que la del Observatorio McDonald, el Dr. S.J. Medwadowski. Con relación al telescopio montado en las Islas Canarias, se puede decir que se ha elegido este como lugar de emplazamiento, debido a las excelentes condiciones del cielo. Esta ubicado en el cráter de un volcán apagado, a más de 2000 metros sobre el nivel del mar, donde la atmósfera es normalmente seca, estable y transparente. Debido a la altura en la que se encuentra, el telescopio esta sujeto a temperaturas externas que varían entre -15 y 35 °C, no obstante el rango de temperaturas reinante, durante el 98 % de las noches del año, período en el cual las condiciones climáticas le permiten estar en operaciones, con un rango de temperaturas que normalmente varía entre -2 a 19 °C. Cabe acotar que en estos telescopios se trata de minimizar al máximo posible, la contaminación lumínica, que afecta al rendimiento óptico del mismo.



Fig. 1. Montaje de la estructura del telescopio, ubicado en las Islas Canarias ².

Sistema óptico

El telescopio aquí estudiado es uno de reflexión, con dos espejos que alimentan a un Foco Cassegrain (CF). Adicionalmente, posee un espejo terciario, localizado sobre el eje longitudinal de la estructura reticular, que alimentará los dos Focos Nasmyth (NF) y los cuatro Focos Folded-Cassegrain (FCF), ubicados sobre el anillo central.

El espejo primario posee un área equivalente al de un espejo circular de 10 m de diámetro y esta compuesto de 36 segmentos vitrocerámicos hexagonales de 0,936 m de lado, que forman al acoplarse, una superficie hexagonal con una longitud de 11,4 m de extremo a extremo. Esta gran superficie colectora, permite captar imágenes de objetos muy distantes, desde galaxias

lejanas recién nacidas, hasta sistemas planetarios de estrellas de nuestros alrededores. Debido a que la estructura metálica que soporta al instrumental, inevitablemente sufrirá deformaciones y con el fin de evitar la degradación producida sobre la imagen, originada en las distintas posiciones que se puede ubicar el instrumento para realizar las observaciones, la posición de cada segmento del espejo primario está controlada en forma activa por un sistema de control, con el fin de mantenerlos dentro de una misma superficie nominalmente esférica.

Con relación al espejo secundario, el mismo está realizado en una sola pieza hexagonal de 1,177 m de lado, con un radio de curvatura de 3,90 m, también es controlado en forma activa. Puede moverse según 5 grados de libertad, con el fin de mantener su alineación. La distancia entre el espejo primario y el secundario es de 14,739 m. El peso del espejo secundario es de 60 kg. Mientras que, el espejo terciario es plano, con un diámetro máximo de 1,511 m y un mínimo de 1,062 m, su peso es de 60 kg y es el encargado de direccionar las imágenes hacia los diferentes focos.

El sistema óptico del telescopio se completa con una serie de instrumentos, que tienen por objeto corregir distintas aberraciones ópticas de las imágenes, antes que las mismas sean recogidas por el sistema de captura de imágenes astronómicas.

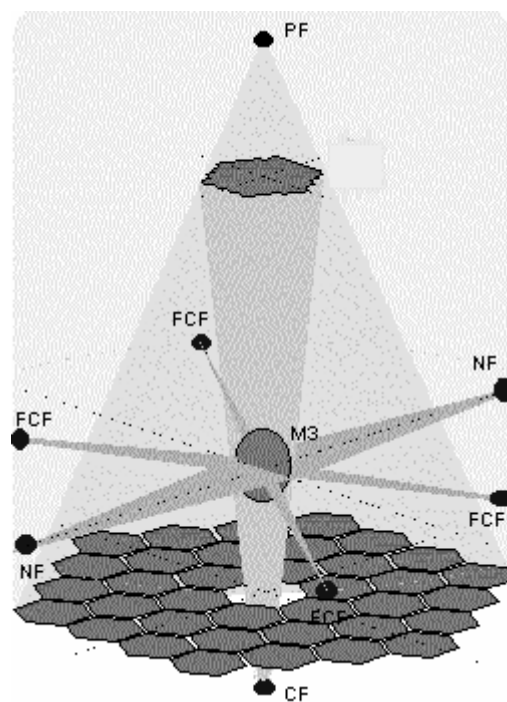


Figura 2: Sistema óptico: espejos secundario, terciario y primario y focos ¹.

Sistema de soporte y control del posicionamiento del Espejo Primario

Cada segmento que conforma el espejo primario, no posee suficiente rigidez para soportar su propio peso, sin producir deformaciones que distorsionarán las imágenes reflejadas, por ello se debe disponer un sistema de soporte que le brinde una adecuada rigidez. Este soporte está unido a la estructura mediante tres posicionadores, que permiten movimientos en la dirección perpendicular al espejo, con un desplazamiento máximo de 1,2 mm.

Este sistema de soportes debe permitir que los segmentos del espejo primario sean fácilmente removibles, para realizar los tratamientos superficiales necesarios para su mantenimiento.

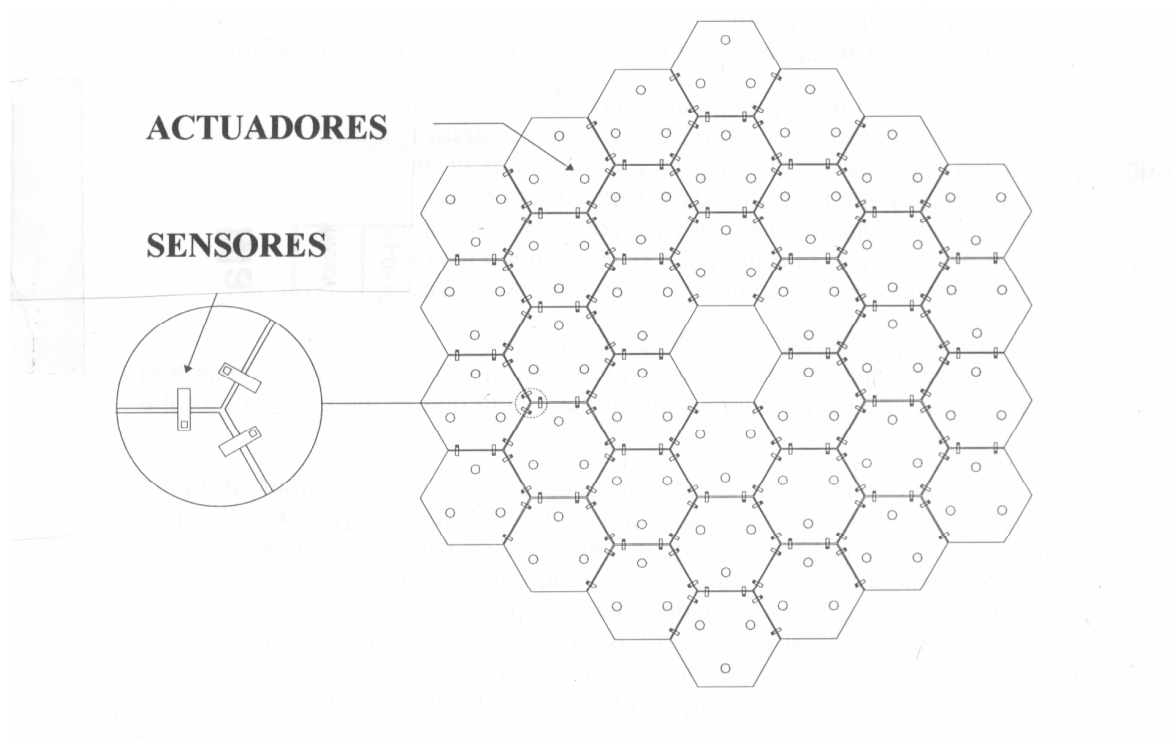


Figura 3: Vista de la distribución de los segmentos del espejo primario, con su sistema de sensores y actuadores¹

Estructura Metálica Resistente

La estructura del telescopio puede dividirse en tres elementos principales: la **montura**, en este caso azimutal, que consta de dos únicos ejes, uno vertical que permite mover el telescopio horizontalmente a izquierda y derecha; y otro horizontal que permite el movimiento hacia arriba y abajo. Si se desea seguir el recorrido de un cuerpo en su movimiento, con este tipo de montura, es necesario manipular constantemente los dos ejes para poder llevar a cabo el seguimiento. En los grandes telescopios son dos motores aplicados a ambos ejes y controlados por un ordenador, los que se encargan del apuntado y seguimiento del objeto celeste. Además, la montura soporta la estructura reticular del telescopio y transfiere las cargas a la base donde esta soportada. La **estructura reticular**, la cual sostiene los espejos y la instrumentación relacionada con los mismos, es la encargada de mantener el alineamiento óptico dentro de rangos admisibles. Se eligió una estructura de barras tubulares debido a la gran eficiencia estructural que posee, además tiene menor inercia térmica, que si se emplea otro tipo de sección con la misma resistencia, permitiendo una buena circulación del aire, ofreciendo poca resistencia al viento, gracias a lo cual se reducen las turbulencias, minimizándose la vibración de todo el instrumento.

Las partes móviles de la estructura del telescopio, montura y estructura reticular, están soportadas por un pilar de hormigón, a través del **anillo de azimut** ubicado en la zona que contiene al plano que pasa por el centro de gravedad de la estructura reticular. Este anillo es hueco con rigidizadores en sus paredes. La **estructura reticular superior** al anillo esta compuesta por los siguiente subsistemas: Estructura tubular superior; Estructura del espejo secundario; Estructura de la araña; Anillo Hexagonal superior; y Anillo Hexagonal medio. Mientras que la **estructura reticular inferior** la componen los subsistemas siguientes: Celda del espejo primario; Anillo tubular; y Estructura del espejo terciario.

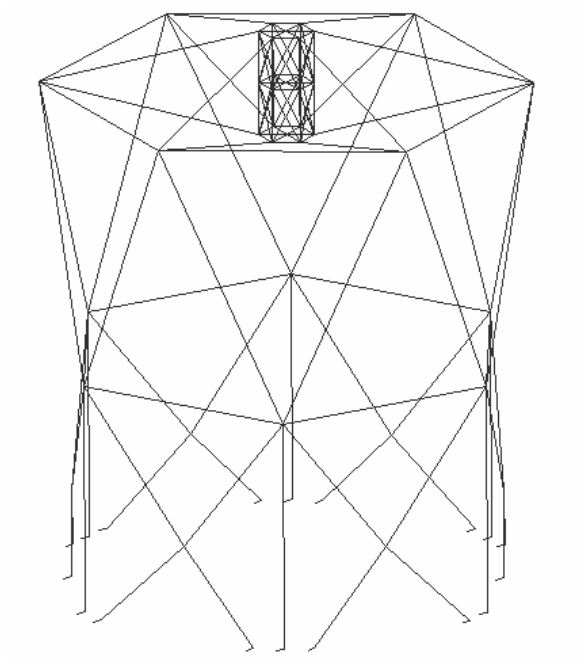


Fig. 4. Parte superior de la estructura reticular.

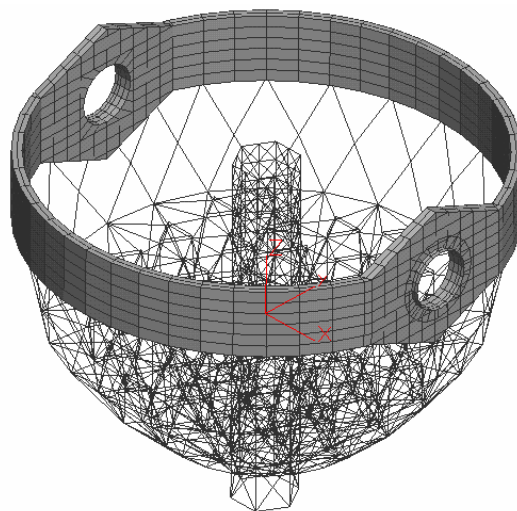


Fig. 5. Parte inferior de la estructura reticular.

Cada una de estas dos partes, presenta un comportamiento estructural casi independiente una de la otra, por ello se las puede diseñar y analizar separadamente. Como es de imaginarse, esto trae importantes beneficios, desde el punto de vista computacional.

La celda del espejo primario esta formada por una estereo-estructura de tres capas. La superior es la encargada de soportar los servo-mecanismos que regulan la posición de los espejos hexagonales. Esta estructura esta unida al anillo de azimut mediante barras.

Un anillo hexagonal corona la estructura tubular superior, circunscribiendo al espejo primario. Este anillo soporta una araña, que está compuesta por seis pares de barras, que soportan la estructura del espejo secundario. Estas barras se las ha ubicado de manera tal que se reduzca al máximo posible el bloqueo de luz sobre el espejo primario. En el diseño se debe tener en cuenta que es deseable que esta estructura tenga una sección transversal muy angosta y que esté alineada sobre las juntas entre los segmentos del espejo primario. La sombra generada por la araña está limitada al 0,5 % del área superficial del espejo primario.

Requerimientos específicos de diseño de la estructura resistente

Sumados a los requerimientos generales que debe cumplir cualquier estructura, aquí se describirán los requerimientos específicos, que es necesario que reúna esta estructura resistente, considerando su particular uso:

- La rigidez de la estructura reticular debe ser maximizada, para evitar las desalineaciones ópticas, debidas a las deflexiones producidas por cargas gravitacionales;
- Reducir el peso total de la estructura, para minimizar los costos y disminuir las inercias térmicas para no inducir turbulencias, que degradarían la calidad de las imágenes;
- La estructura debe tener una baja y estable emisividad en el infrarrojo, esto se logra con determinados materiales o reduciendo la masa del telescopio;
- El área expuesta de la estructura a las corrientes de aire, debe ser baja para no producir turbulencias en el aire que circula, para evitar el movimiento de las imágenes;
- La estructura del telescopio debe permitir un flujo de aire suave alrededor y a través de los elementos, especialmente aquellos ubicados por encima del espejo primario. Esto permite una reducción de los gradientes de temperatura entre los diferentes elementos estructurales, minimizando las desalineaciones ópticas producidas por este efecto;
- El mecanismo del telescopio debe permitir movimientos según tres grados de libertad, con extrema suavidad y precisión, considerando que, en función de la distancia al Planeta Tierra del objeto observado, puede ser necesario realizar exposiciones de una misma imagen durante varias horas. Para facilitar esto, conviene reducir el peso del instrumento; y
- No está previsto que opere ante acciones sísmicas, no obstante debe estar preparado para soportarlas durante su vida útil.

Sintetizando los seis primeros requerimientos, se puede decir que se debe adoptar una estructura tal que, su peso sea reducido, manteniendo una rigidez adecuada a su finalidad.

PROCESO DE DISEÑO ESTRUCTURAL

En el proceso de diseño se debe tratar que la estructura posea las menores deformaciones posibles; esto se logra con estructuras rígidas y esta rigidez se obtiene con estructuras pesadas. En contrapartida, a los efectos de facilitar el movimiento del telescopio, es preferible alivianarlas, por ello se deben adoptar soluciones de compromiso, entre estas dos condiciones contrapuestas, obteniéndose diseños muy eficientes, que poseen una importante rigidez, con un peso de la estructura razonable. Para solucionar esto se recurre a procesos de optimización estructural. En la referencia ⁶ se muestra una aplicación de una técnica, desarrollada por los autores de este trabajo, que tiene por objetivo evaluar la eficiencia de distintos diseños, mediante un parámetro llamado Desplazamiento Volumétrico, que tiene en cuenta los desplazamientos y el volumen de las distintas partes de la estructura. Luego se elige el diseño que hace mínimo este parámetro. El caso desarrollado en este trabajo es un telescopio similar al ubicado en las Islas Canarias.

Para determinar el valor de los desplazamientos, se adoptó como estado de carga, el peso propio de la estructura, óptica e instrumental. El análisis se efectuó con un software de cálculo basado en el Método de los Elementos Finitos, comercialmente conocido como Algor.

El análisis mecánico del tubo del telescopio, debido a que es móvil, se lo debe realizar en distintas posiciones, normalmente las tres más representativas son: Horizontal, Inclínada a 45°, y Vertical. Como ejemplo, se incluye una de las curvas obtenidas en este proceso de optimización.

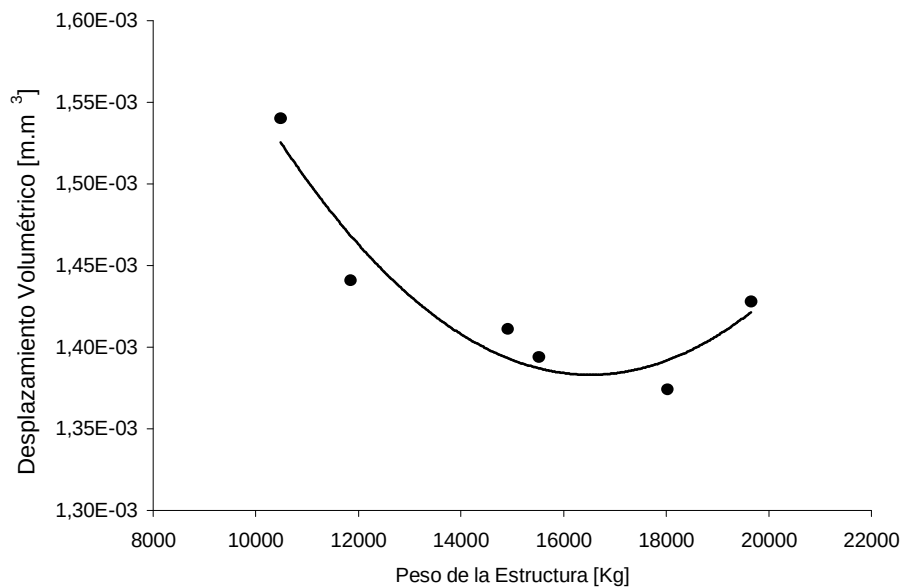


Fig. 6. Desplazamiento Volumétrico de la Estructura Superior, en posición horizontal, en función del peso de la estructura ⁶.

El análisis de las distintas partes de la estructura, se efectuó con las cargas estáticas de origen gravitatorio (peso propio), que son las dominantes y se debe realizar la verificación del diseño adoptado ante las restantes solicitaciones, que tienen una acción dinámica, este es el caso de las provenientes del viento, así como las producidas por los distintos movimientos del telescopio. Dependiendo del emplazamiento elegido, también podría estar sometido a la acción de sismos. En este último caso, si bien durante un sismo no se realizarán observaciones astronómicas, se debe verificar la resistencia de la estructura y la rigidez de la misma, de modo de asegurar que las deformaciones sean compatibles con el instrumental y no se produzca, por ejemplo la rotura de alguno de los espejos. A partir de los resultados obtenidos en estas verificaciones se pueden proponer refuerzos en distintos lugares de la estructura.

Hay que tener presente que la principal función de este tipo de estructuras, es no alterar la calidad óptica del instrumental que ellas sostienen. Por ello, se puede afirmar que los desplazamientos no acotados de la estructura, pueden influir negativamente en el rendimiento óptico de un telescopio.

CONCLUSIONES

Como se puede apreciar la Mecánica Estructural es una importante herramienta, para colaborar con los estudios astronómicos y que para obtener un instrumento con una buena calidad de imagen, eficiencia operativa y fiabilidad, no solo es importante la calidad de los elementos ópticos, sino que también se debe diseñar eficientemente la estructura que los sostiene.

Referencias

- [1] Instituto de Astrofísica de Canarias, *Gran Telescopio Canarias, Conceptual Design*, Grantecan S.A., (1997).
- [2] <http://www.gtc.iac.es/>, Página Principal del Proyecto del Gran Telescopio de Canarias, Instituto Astronómico de Canarias.

- [3] S.J. Medwadowski, "Space frames in Architecture and Science", *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, IASS, Vol. 27, N° 92-93, 7-12, (1986).
- [4] J.F. Abel, Structures by Medwadowski, *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, IASS, Vol. 41, N° 92-93, 137-146, (2000).
- [5] K. Meiring, M. de Kock and W.Esterhuize, "Steel Structures for a Large Telescope, Southern African Large Telescope", *Steel Construction*, Southern African Institute of Steel Construction, Vol. 27, N° 3, 5-8, (2003).
- [6] S.I. Robles y N.F. Ortega, "Optimización del Diseño de láminas. Obtención de las Mínimas Flexiones Volumétricas Estructurales", *Procc. Mecánica Computacional*, Vol. XIX, Argentina, 287-292, (2000).