

Estudio estructural a la cubierta de la sala principal del teatro José Peón Contreras

José Eduardo Cerón Chávez¹, Manuel Ricardo Bagundo Tec², Miguel Angel Cerón Cárdena³

RESUMEN

Recientemente se llevó a cabo un estudio estructural a la cubierta de la sala principal del teatro José Peón Contreras, cuya construcción concluyó en 1908. Este estudio consistió en la determinación precisa de los sistemas estructurales existentes, así como de la identificación y clasificación de diversas patologías que se observaron en sus elementos. Con este propósito, fue necesario desarrollar un modelo analítico para determinar un procedimiento de refuerzo y restauración que permitiera su conservación apropiada y que pudiera garantizar las condiciones necesarias de seguridad para el público. Por lo tanto, tres temas cubren el alcance de este trabajo, enfatizando primero, los aspectos más importantes asociados con los sistemas estructurales existentes, segundo, diversas consideraciones numéricas para la generación del modelo analítico que permitió determinar el estado estructural actual de la cubierta, pudiendo corroborarse su utilidad con un alto nivel de precisión y finalmente, algunos aspectos peculiares de la estructura.

Palabras clave: Modelo analítico, armaduras, patologías estructurales, conservación, refuerzo estructural.

ABSTRACT

A structural study to the auditorium's roof of the José Peón Contreras Theater, whose construction concluded in 1908, was carried out recently. This study consisted on the precise determination of the existent structural systems, as well as the identification and classification of diverse pathologies that were observed on its elements. For this purpose, it was necessary to develop an analytical model and to determine a reinforcement procedure and restoration that might allow its appropriate conservation and also guarantee the necessary conditions of security for the audience. Therefore, three topics cover the scope of this work, emphasizing first, the most important aspects associated with the existent structural systems, second, several numerical considerations for the generation of the analytical model that allowed determining the real structural condition of the roof, verifying its high level accuracy, and finally, some peculiar aspects of the structure are analyzed.

Keywords: Analytical model, trusses, structural pathologies, conservation, structural reinforcement.

INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del paso del huracán "Isidore" por la región peninsular yucateca en septiembre de 2002, el Instituto de Cultura de Yucatán solicitó la realización, por medio de una empresa privada especializada, de una inspección y

evaluación de los daños estructurales ocasionados por el meteoro. Durante la realización de ese trabajo fue posible detectar una serie de daños y patologías estructurales no atribuibles a la acción directa del mencionado huracán, tales como pandeos excesivos y deterioro severo por corrosión en algunos elementos estructurales, particularmente en elementos de las

¹ Profesor de Asignatura de Enseñanza Media Superior, Cuerpo Académico de Estructuras y Materiales, FIUADY

² Analista estructural, Estudios y Supervisión del Sureste, S. A. de C. V.

³ Profesor Investigador, Cuerpo Académico de Estructuras y Materiales, FIUADY

estructuras principales que conforman la cubierta de la sala principal del teatro. A raíz de estas observaciones, se recomendó la realización de un estudio de mayor alcance y profundidad, el cual centrara su atención en estas estructuras y que permitiera establecer el nivel de seguridad estructural actual del inmueble.

Antecedentes históricos

El teatro José Peón Contreras comenzó a construirse en el año 1900, siendo un proyecto del Sr. Enrique Deserti, y su construcción culminó en el año 1908, inaugurándose oficialmente el día 21 de diciembre de ese año. En 1940 se decidió cambiar su función a la de cine, lo cual motivó una serie de adecuaciones que, aunadas a la nueva función del inmueble y la falta de mantenimiento, se tradujeron en el inicio de un proceso de deterioro general. Durante la década de 1970 a 1980 el teatro permaneció cerrado y el deterioro del mismo se aceleró, amenazando con derrumbarse. En este último año se inició un proyecto de rescate a cargo de la SAHOP (Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas), en el cual participaron diversas empresas y especialistas. En los primeros meses de 1982 el teatro volvió a ser puesto en servicio (*D. de Y., 1980*), función que ha cumplido hasta la fecha.

METODOLOGÍA

La metodología empleada consistió, en primer término, de la realización de un levantamiento detallado de todos los elementos estructurales de la cubierta en estudio, lo cual permitió no sólo conocer sus características geométricas, sino también identificar los sistemas estructurales existentes y sus formas de trabajo, lo cual permitió entender la concepción estructural del conjunto. Ya conocida la estructura, se procedió a identificar, registrar y clasificar las diversas patologías observadas, tanto en elementos estructurales como en elementos no estructurales, pero que representaban algún nivel de riesgo potencial para los usuarios. Cuando se dispuso de una cantidad significativa de información, se generó un modelo matemático de estudio, el cual permitió analizar el comportamiento de la estructura ante las cargas probables y existentes. Este modelo fue determinante en la identificación de los elementos críticos de la estructura y sus particularidades se detallarán más adelante. En los siguientes párrafos se describen con mayor detalle los elementos constituyentes del marco metodológico de este artículo.

Descripción de las estructuras

Nivel de armaduras

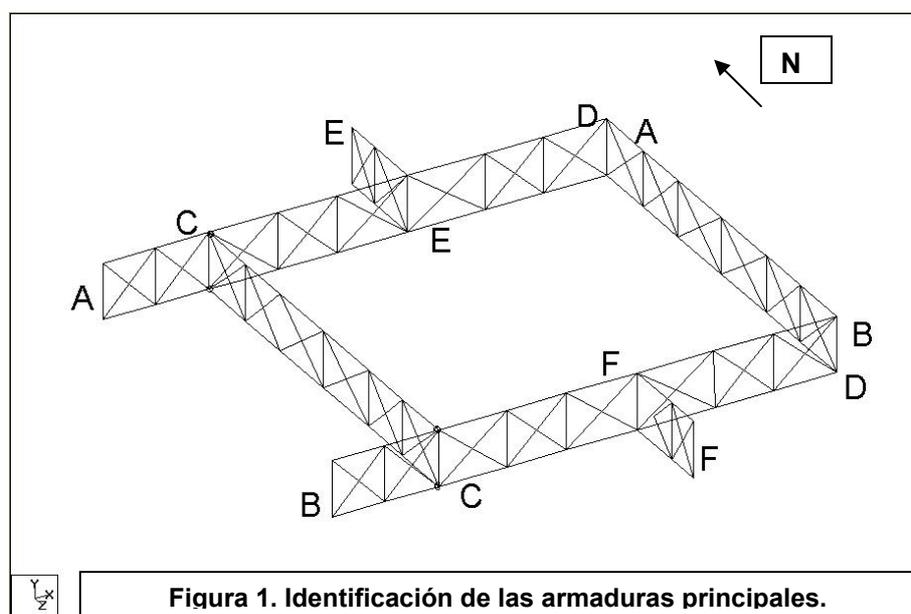
La configuración estructural de la cubierta de la sala principal consta de un sistema de armaduras planas de 2.5 m de peralte, formadas por diversos perfiles laminados y combinaciones de éstos. Este sistema está formado por dos armaduras principales, que corren paralelas a ambos lados de la sala, y con orientación este-oeste (armaduras AA y BB), y por dos armaduras secundarias, con orientación norte-sur (armaduras CC y DD), las cuales se apoyan en las armaduras principales. Adicionalmente, existen otras dos armaduras que sirven de apoyos intermedios a las armaduras principales. La Figura 1 ilustra la disposición general de la estructura.

En las intersecciones de las armaduras AA y BB con la armadura secundaria CC existen unas vigas metálicas de sección "T" estándar que pasan por debajo de las cuerdas inferiores de las armaduras, sin coincidir con ningún nodo. Estas vigas se apoyan en sus extremos en unas columnas metálicas formadas por 4 perfiles "Z" y una placa central. En la esquina noroeste del cuadro formado por las armaduras, y utilizando como apoyo las vigas mencionadas, se encuentra el motor que forma parte del mecanismo de control de nivel del candil central. Las armaduras EE y FF son armaduras pequeñas que se apoyan en una columna metálica y en los muros de mampostería laterales. En este punto, y a fin de evitar el volteamiento inducido por las descargas de las armaduras principales, estas armaduras se encuentran "lastradas" con el peso propio de los muros de mampostería en los que se apoyan, mediante unos tensores metálicos que bajan a través de los muros.

Los elementos que forman las armaduras son de dimensiones diversas, aparentemente correspondientes a las intensidades de los elementos mecánicos actuantes en ellas, aunque con algunas excepciones, como se señalará más adelante. En su mayoría, los elementos de las armaduras son angulares laminados sencillos y dobles, muchos de ellos de dimensiones que no se producen comercialmente en la actualidad. Cabe señalar que muchos de estos elementos fueron, en algún momento de la vida de la estructura, reforzados mediante la colocación de elementos similares adosados a éstos, generalmente mediante soldadura. En otros casos puede apreciarse que los elementos originales se encontraban sumamente deteriorados por corrosión en su totalidad o en partes, y fueron reemplazados por elementos nuevos de dimensiones similares. Las conexiones de los elementos de las armaduras se

realizaron a través de placas de conexión de 13 mm de espesor en su mayoría y por medio de conectores mecánicos de tipo remache. Las características de estos remaches hacen pensar que fueron realizados por medios mecánicos, es decir, no parecen haber sido realizados en obra. Aparentemente, las armaduras principales y secundarias fueron construidas en un taller y divididas en secciones, para luego ser transportadas y ensambladas en el sitio. Se

han identificado los puntos de conexión entre secciones, reconocibles por la presencia de placas de conexión atornilladas en las cuerdas inferior y superior de las armaduras.



En las esquinas del cuadro formado por las armaduras principales y secundarias se encuentran, al nivel de la cuerda superior de éstas, unas vigas de sección I estándar que se apoyan en sus extremos. Estas vigas se conectan a las armaduras a través de unas placas de conexión, formando una conexión simple por cortante. Los segmentos centrales de las cuerdas superiores de las armaduras, junto con las vigas mencionadas, forman un octágono que sirve de apoyo a la estructura superior, en el nivel de cúpula.

Nivel de cúpula

La zona central de la cubierta de la sala principal del teatro es una bóveda con una parte central plana. Lo que se observa desde el interior de la sala es una estructura formada por piezas de madera, con elementos de alambre, yeso y tela, donde se plasmó el fresco de Allegretti. Esta estructura, que se denominará cúpula interior, se sostiene de una

estructura metálica formada por 16 armaduras en disposición radial, las cuales a su vez dan forma a la cúpula exterior, formada por un acomodo de tabiques de barro unidos por mortero, apoyados en vigas "T" curvadas a manera de anillos, las cuales brindan apoyo lateral a las armaduras de la cúpula. Las armaduras, en sus extremos superior e inferior, están unidas a unos anillos formados por canales "C" estándar curvados. En la configuración clásica de las estructuras de cúpula, el anillo superior es un anillo de compresión, mientras que el anillo inferior es un anillo de tensión. Las armaduras del nivel de cúpula están formadas por perfiles angulares laminados, unidos entre sí por un solo remache, o bien por pequeñas placas de conexión con algunos tornillos. El anillo de tensión se apoya, como ya se mencionó, sobre el octágono formado por las cuerdas superiores de las armaduras y las vigas de las esquinas. Este anillo fue reforzado, probablemente durante la

restauración de 1980, por medio de 4 varillas de acero AR-42 de 19 mm de diámetro, soldadas a placas.

Corona de la cúpula

Al anillo de compresión de la cúpula se fijan, mediante placas y tornillos, 16 elementos verticales formados por angulares dobles. Estos elementos se prolongan hacia abajo, a partir del anillo de compresión, aproximadamente 3 m, donde se unen entre sí por medio de otro anillo formado por un canal estándar de dimensiones pequeñas, el cual delimita la parte plana de la cúpula interior. Hacia arriba del anillo de compresión, los angulares dobles se prolongan 1 m, donde llegan a una placa triangular y cambian de dirección, dirigiéndose hacia el centro de la estructura, donde concurren en una placa de forma circular.

El sistema de fijación del candil consiste en tres vigas de sección "I" estándar. La viga principal se encuentra a unos 20 cm por encima del nivel del anillo de compresión, y en ella se encuentra fija la polea por la que pasa el cable de acero que sostiene al candil. Las otras dos vigas son ligeramente más pequeñas que la principal, y se unen a ésta a distancias iguales a ambos lados de la polea. Las tres vigas se apoyan en secciones de vigas similares colocadas en posición vertical y soldadas al anillo de compresión. El sistema de fijación del candil no forma parte original de la estructura, sino que fue una adición realizada como parte de la restauración de 1980. Se ignora si existía un candil previo al colocado en la restauración, pero la placa circular que corona la cúpula parece tener algún tipo de preparación con este fin.

Registro de patologías estructurales

Se realizó un levantamiento detallado de todos los diversos indicios de comportamiento estructural inadecuado y de deterioro de los materiales. Aquí se presenta un resumen de lo observado.

La mayor parte de los elementos estructurales del nivel de armaduras se encuentran en buenas condiciones, lo mismo que sus conexiones. Sin embargo, se detectaron problemas de pandeo excesivo de algunos elementos. En el nivel de cúpula se detectó la presencia de pandeos laterales, tanto en curvatura simple como doble, en las cuerdas inferiores de las armaduras de esta zona. Este problema se encontró en al menos 9 de las 16 armaduras que conforman este nivel, además de

problemas de corrosión en el anillo de tensión; sin embargo, este deterioro parece ser la razón del refuerzo existente en el mencionado anillo, descrito en el apartado anterior, y realizado aparentemente en 1980. Prácticamente todos los elementos de las armaduras del nivel de cúpula se encuentran cubiertos en su mayor parte por residuos de materia orgánica. En el nivel de Corona de la cúpula se presentan algunos de los comportamientos inadecuados más evidentes, aunque no necesariamente los más graves, desde el punto de vista estructural. En general, se encontraron elementos con corrosión severa, pandeos locales y pérdida de conectores en varios puntos.

Consideraciones sobre la integración del modelo analítico

La confiabilidad de cualquier modelo matemático que pretenda representar a una estructura real existente dependerá en buena medida del entendimiento que el analista tenga del funcionamiento de la misma y de la información de que se disponga en cuanto a las particularidades de los materiales empleados. En el presente caso se tiene una estructura que fue construida a principios del siglo XX, entre 1900 y 1908. En varios de los elementos originales de las armaduras se encuentra la marca "Bethlehem", que corresponde a una empresa del estado de Pensilvania, Estados Unidos, llamada "Bethlehem Steel Company", cuyos orígenes se remontan a 1857 y que durante muchos años se dedicó a la fabricación de perfiles estructurales, principalmente para la construcción de puentes. Aunque se estableció contacto con esta compañía (ISG/Bethlehem 2002), en la actualidad ya no fabrican acero estructural y no disponen de información sobre perfiles tan antiguos. Sin embargo, durante los trabajos de restauración realizados en 1980 se tomaron muestras del acero de estas estructuras y se ensayaron a la tensión, de tal manera que pudo determinarse un esfuerzo de fluencia de 2,835 kg/cm² (278 MPa) y un esfuerzo de ruptura de 3,905 kg/cm² (383 MPa), con elongaciones del 12% (Gómez, 1980). Estos datos fueron incorporados en el modelo desarrollado en este estudio. Cabe señalar que estas propiedades no corresponden a ninguna de las clasificaciones de acero estructural conocidas, lo cual es razonable, ya que las primeras clasificaciones generales de la AISC (American Institute for Steel Construction) para puentes ferroviarios no surgieron hasta 1905 (AISC, 2003) y las primeras para construcción de edificios hasta 1923 (Johnston et al 1988). Además, la ASTM (American Society for Testing of Materials) surgió apenas unos cuantos años antes, en 1898 (ASTM, 2001).

Modelo de Elementos Finitos

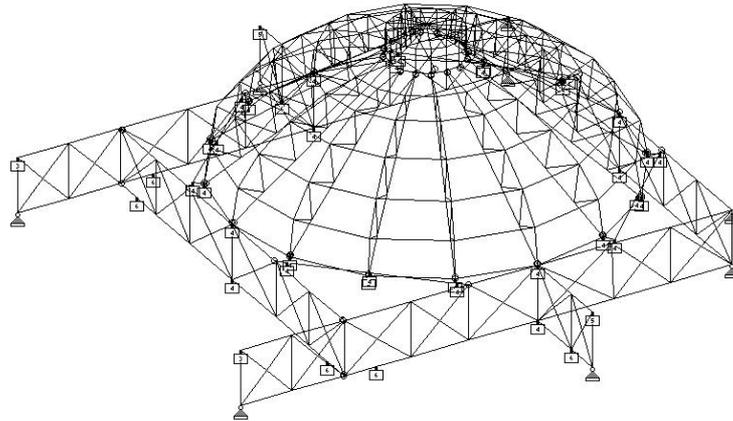


Figura 2. Representación del Modelo Numérico

Modelo analítico.

Con base en la información descrita en los párrafos anteriores, se desarrolló un modelo analítico tridimensional de elementos lineales mediante el programa Staad-Pro 2001 (REI, 2001), consistente en un esqueleto de 1,144 barras y 521 nodos. El análisis de rigidez implementado en este programa se basa en el método de la matriz de desplazamientos, en el cual la estructura primero se idealiza como un ensamble de componentes estructurales discretos. Cada componente tiene una forma de desplazarse tal que satisface el equilibrio de fuerzas y la compatibilidad de desplazamientos en los nodos. Se realizó un levantamiento detallado de las características geométricas de cada una de las secciones transversales de los elementos y de sus orientaciones, integrándose toda esta información al modelo, el cual se presenta en la figura 2.

Se definieron también 5 tipos diferentes de apoyos, representando las particulares condiciones de restricción de cada punto de apoyo de la estructura. Este tipo de restricciones espaciales se aplicaron, por ejemplo, para modelar la restricción al desplazamiento lateral que le brinda la losa de vigueta y bovedilla al anillo de tensión. En cuanto a la estimación de las cargas vivas y muertas, éstas se calcularon en función de los pesos volumétricos de los diferentes materiales y de las condiciones de servicio observadas. Se consideró que, a pesar de la altura a la que se encuentra la cúpula, las acciones de viento no son determinantes en su comportamiento, ni causantes del tipo de deterioro observado. El peso del

candil se consideró de 1 ton (9.8 KN), tomando en cuenta la información proporcionada por el personal de mantenimiento del teatro y la capacidad de carga del motor de izaje, que es de 1.98 ton (19.41 KN). Se determinaron las combinaciones de carga más desfavorables, y en particular se estudió el efecto de la presencia del candil y de sus elementos de fijación sobre la estructura. La revisión de la resistencia de cada una de las secciones se realizó con base en el criterio de esfuerzos permisibles, considerando que es el método formal de diseño más adecuado a usarse si se toma en cuenta la antigüedad de la estructura (de hecho, este es el método que *probablemente* usaron sus diseñadores, ya que las bases teóricas de este método ya habían sido establecidas tiempo atrás). La generación y estudio del modelo analítico permitió detectar elementos sobreesforzados y/o susceptibles de presentar problemas de pandeo, los cuales correspondían, en el 90% de los casos, a los elementos con daños evidentes ya descritos, lo que corroboró que el modelo representaba de manera aceptable el comportamiento de la estructura. Este mismo modelo sirvió de base para evaluar las diferentes propuestas de refuerzo de elementos, hasta determinar la propuesta óptima.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del estudio de los resultados de los diferentes análisis realizados se pueden hacer algunas observaciones significativas. La primera de ellas corresponde al efecto de las diferentes cargas que actúan sobre la estructura, en términos de deformaciones.

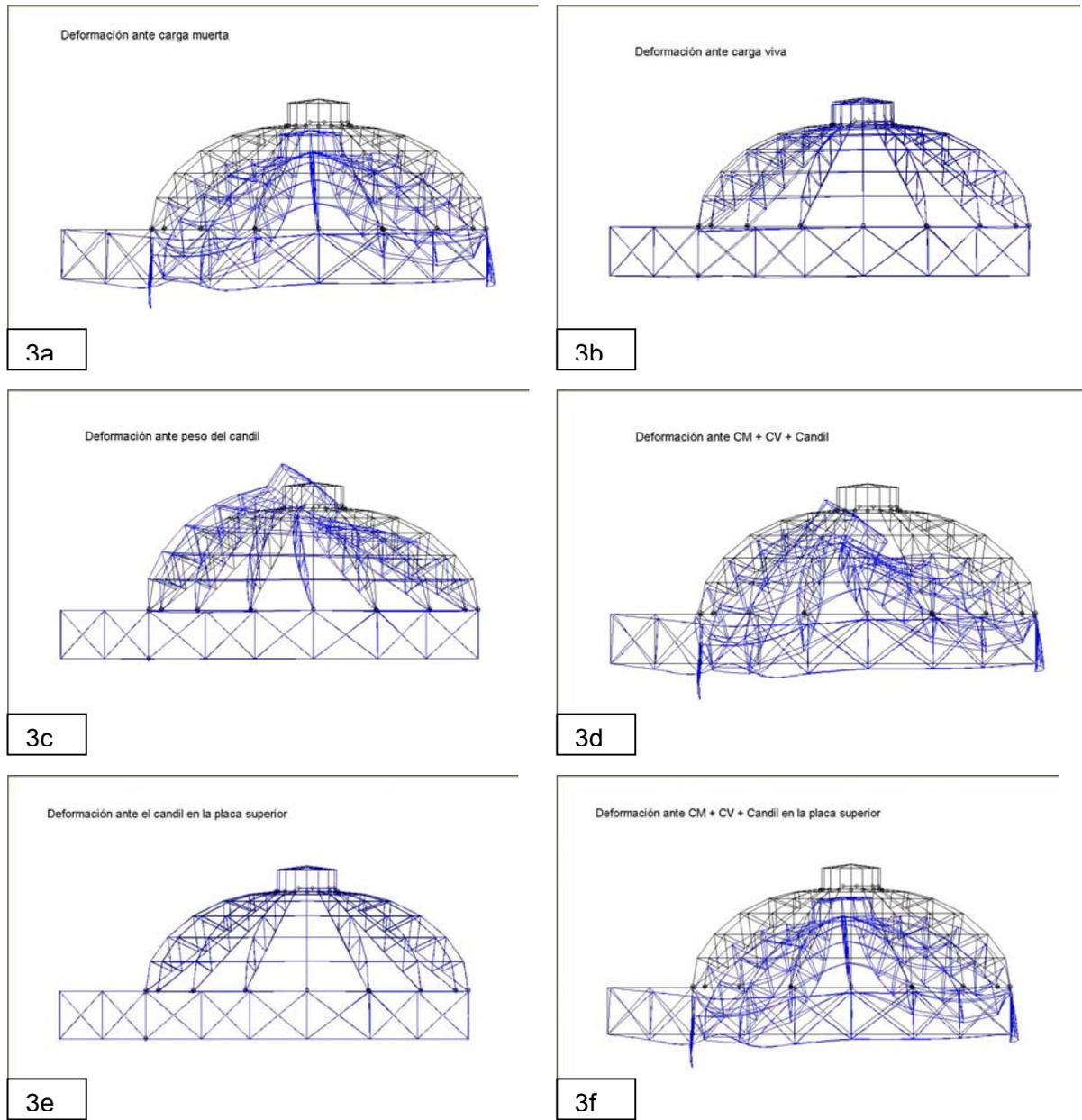


Figura 3. Deformaciones

Las configuraciones deformadas de diferentes cargas primarias actuando independientemente y en combinación con otras son mostradas en la figura 3. Puede observarse que la carga viva no contribuye de manera importante a la deformación global (fig. 3b), mientras que la carga muerta parece ser la que rige este fenómeno (fig. 3a). Sin embargo, la deformación causada por el candil y sus componentes de fuerza (derivados de la forma en que se sostiene el candil), inducen una deformación

considerable. Cuando se combinan las cargas muertas, vivas y las producidas por el candil puede observarse que este último induce deformaciones considerables, con los elementos mecánicos correspondientes, y particularmente sobre el anillo de compresión. En las figuras 3e y 3f se puede observar el efecto que produciría el candil si se colocara en la placa circular que corona la cúpula, como pudiera haber sido concebido originalmente. En la figura 3e se observa el efecto del candil únicamente y en la 3f

su efecto combinado con el de las cargas muertas y vivas. Se observa que si el candil simplemente colgara de la placa de la corona de la cúpula, el comportamiento general de la estructura sería más adecuado. Todas las configuraciones deformadas aquí presentadas se encuentran a la misma escala y se observan desde la misma perspectiva. Las deformaciones han sido mostradas a una escala exagerada con fines de claridad. En cuanto a los desplazamientos nodales, se estima que estos se conservan en general por debajo de los 3 cm, en términos de la resultante de tres desplazamientos ortogonales.

Las fuerzas internas y las correspondientes revisiones de diseño indican la existencia de elementos sobreesforzados en diferentes puntos de la estructura, siendo éstos, algunas de las cuerdas inferiores de las armaduras AA, BB y CC, adyacentes a los puntos de intersección de éstas, y consecuencia de la presencia de las vigas de apoyo ya señaladas. También se identifican algunos elementos diagonales de las armaduras FF y EE, así como en la intersección de las armaduras AA y BB con la DD. En el nivel de cúpula se detectan problemas en las cuerdas inferiores de las armaduras que son perpendiculares a las armaduras del nivel inferior, particularmente a las que coinciden con la posición de las armaduras EE y FF. En el nivel de corona de la cúpula se observan problemas en algunas de las columnas de doble angular y en el anillo de compresión. Como ya se ha mencionado, la mayor parte de los elementos identificados como sobreesforzados son precisamente los que presentan los problemas de pandeo más evidentes. En cuanto a la magnitud de las reacciones en los apoyos de la estructura, todas ellas se conservan dentro de parámetros aceptables.

RECOMENDACIONES Y COMENTARIOS GENERALES

Muchos de los daños y deterioros observados se han generado en el transcurso de los últimos veinte años e incrementado de manera gradual. De existir un programa de mantenimiento y revisión estructural formal y periódico es posible que muchos de los daños que ahora tienen que ser reparados nunca se hubiesen presentado. Independientemente de las múltiples razones de carácter operativo y económico que pudiesen existir, la falta de un acceso seguro y práctico a las áreas en cuestión puede ser un factor que contribuya a esta falta de supervisión regular. Es conveniente considerar la realización de los trabajos de reforzamiento como una oportunidad para habilitar un acceso a estas zonas mediante pasos de gato, es decir, estructuras ligeras que permitan el acceso de

manera segura al personal de inspección y de mantenimiento del teatro a las áreas en cuestión. En el caso del teatro Peón Contreras, existe un acceso (cerrado con malla electrosoldada) al área del estudio a través del muro de mampostería que se desplanta de la armadura de boca-escena. A este acceso es posible llegar desde la estructura de la tramoya, mediante el habilitado de un puente y algunas escaleras marinas. En la actualidad existen materiales ligeros y resistentes con los que se pueden habilitar estructuras como las descritas. Tampoco representa mayor problema habilitar un sistema de iluminación mediante barras de luz blanca fluorescente en estas áreas.

También es necesario tener en cuenta que parte del deterioro observado en algunos elementos de acero y en particular en los elementos de madera tiene su origen en la humedad y materia orgánica existente, causada por la presencia de aves, principalmente. La cubierta de lámina en voladizo que rodea a la corona de la cúpula y la malla de alambre en las ventilas no parecen ser suficientes para evitar este problema. La modificación de esta cubierta y la colocación constante de productos repelentes de aves pueden ser una opción de solución.

La propuesta de reforzamiento y reparación estructural considera las limitantes impuestas por las propias condiciones de funcionamiento del inmueble. Se considera que es posible realizar la mayor parte de los trabajos sin necesidad de cerrar el teatro por periodos de tiempo prolongados. Se han propuesto elementos de refuerzo que puedan ser adosados a la estructura mediante tornillería o soldadura. Sin embargo, en este último caso, la soldadura deberá ser realizada con extrema precaución, trabajando por partes y considerando intervalos de tiempo de enfriamiento, ya que es indispensable evitar sobrecalentamientos en las piezas. Cada uno de los trabajos a realizar deberá de ser supervisado por un ingeniero estructural. La descripción detallada de la propuesta de reforzamiento y restauración ha sido omitida en el presente documento.

Peculiaridades estructurales

Durante los trabajos de campo realizados en las estructuras del teatro se observaron y registraron dos disposiciones de elementos estructurales que presentan algunas peculiaridades. En primer término, en el extremo este de las armaduras principales AA y BB, es posible apreciar una viga de sección "I" estándar colocada debajo de la cuerda inferior de la armadura. Esta viga se prolonga, pasando a través del muro de ladrillo, hasta empotrarse en el muro de

mampostería situado donde empieza la tramoya (figura 4). Estas armaduras terminan con una *columna plana de celosía* (elemento sumamente rígido en su plano), adosada mediante remaches a su extremo. De este elemento surge una armadura de mayor rigidez que la de las armaduras de la cúpula, la cual también atraviesa el muro de ladrillo y llega hasta el muro de mampostería de la tramoya. Como se ha mencionado en la descripción de los sistemas estructurales, las armaduras AA y BB se apoyan sobre la armadura de boca-escena. Esta última es una armadura doble, con una cuerda superior formada por una placa de acero de entre 40 y 50 cm de ancho. Parecería lógico que el elemento rígido con el que termina la armadura (la columna plana de celosía) sirviera de elemento de transición o de apoyo, y éste se apoyara directamente

sobre la cuerda superior de la armadura de boca-escena. Sin embargo, esto no es así, existiendo un desfase de cerca de 30 cm entre el eje de la columna y el eje de la placa de la armadura de boca-escena. Entonces es cuando puede inferirse la función de esa viga "I" estándar que se encuentra debajo de la armadura. Suponiendo que las armaduras principales hayan quedado cortas con respecto a la posición de la armadura de boca-escena (recordando que, como ya se ha mencionado, las armaduras no se fabricaron en Yucatán, sino que únicamente se ensamblaron aquí), es posible que el responsable de la obra haya tomado la decisión de "calzar" las armaduras principales mediante el perfil "I", con la idea de "ampliar" el apoyo que la armadura de boca-escena brindaba a las armaduras principales.



Figura 4. Por debajo de la cuerda inferior de la armadura puede verse una viga adicional.

La segunda observación de peculiaridades en la estructura corresponde al extremo este de las armaduras principales AA y BB. En la figura 5 se aprecian los dos últimos "cuadros" de la armadura AA, vistos desde la armadura DD. Puede advertirse que las diagonales correspondientes al "cuadro" más cercano a la cúpula interior son, por mucho, más robustas que las correspondientes al siguiente "cuadro", el adyacente al apoyo de la armadura. El comportamiento de las fuerzas axiales en los elementos de una armadura de geometría regular y apoyos simples, como es el caso, generalmente sigue un patrón conocido. Las mayores tensiones y compresiones en las cuerdas se presentan generalmente al centro del claro cubierto por la

armadura. Las máximas tensiones y compresiones en los elementos diagonales se presentan cerca de los apoyos. En la figura 6 se puede observar el diagrama de fuerzas axiales correspondiente a la armadura AA, para la combinación de carga viva más carga muerta. Como se observa, lo dicho anteriormente se cumple para esta armadura. En todas las demás armaduras del sistema, existe una clara correspondencia entre las dimensiones de la sección transversal de los perfiles y el nivel de carga axial que, según el análisis, debe soportar. Lo anteriormente mencionado no es casual, ya que en la época en la que se estima que se construyeron las armaduras se encontraban ya establecidas todas las consideraciones teóricas necesarias para llevar a cabo su análisis. Las únicas

excepciones son las armaduras AA y BB, en las diagonales señaladas. Si consideramos por un momento que las armaduras AA y BB se construyeron en otro lugar, se dividieron en tres partes cada una, y se ensamblaron en el sitio, cabe pensar en la posibilidad de un error de construcción. La sección extrema de estas armaduras contiene, **remachada**, una placa que sirve de conexión para la viga "I" de esquina, que sirve de apoyo a la cúpula. La viga se une a la placa mediante **tornillería**, como se puede ver claramente en la figura 7. Si esta placa hubiese sido colocada en el extremo equivocado de la sección de la armadura, eso hubiera sido suficiente para que los ensambladores colocaran esta sección al

revés, con lo que se explicaría la discrepancia entre las dimensiones de los elementos y las fuerzas que actúan en ellos.

Evidentemente, al no existir documentación técnica histórica referente al proceso constructivo del teatro, lo aquí expuesto son especulaciones difíciles, si no imposibles de probar, pero que resultan ser interesantes, por lo que se han agregado al estudio general con el único fin de enriquecerlo y puntualizar la conveniencia de estudiarlo con mayor detalle en un futuro próximo.



Figura 5. Diagonales del extremo oriente de la armadura AA.

REFERENCIAS

1. Diario de Yucatán (1980) "*Breve historia del Peón Contreras*", Mérida, México.
2. ISG/Bethlehem (2002). <http://www.bethsteel.com>. USA.
3. Gómez Mejía (1980), "*Archivo personal*", Mérida, México
4. Johnston, B., Lin, F.J., Galambos, T.V.(1988) "*Diseño Básico de Estructuras de Acero*", México.
5. AISC (2002). <http://www.aisc.org>. USA.
6. ASTM international (2001). <http://www.astm.org>. USA.
7. Research Engineers International,(2001) "*Staad Pro 2001*".USA.
8. ESSSA, Departamento de Ingeniería Estructural (2002). "*Estudio estructural a la cubierta del teatro José Peón Contreras*", Mérida, México.