ESCUELAS NACIONALES DE ARTE DE CUBANACÁN. DIAGNÓSTICO Y PROYECTO DE RESTAURACIÓN DE ARTES PLÁSTICAS

(NATIONAL SCHOOLS OF ART OF CUBANACÁN. DIAGNOSTIC AND RESTORATION PROJECT
OF PLASTIC ARTS)

L. Pérez Echazábal ¹, U. García Lorenzo ², A. Pascual Jorge ², C. R. Castilla Rodríguez, L. Ruiz ²,
M. A. Maestre Mesa ³, C. Recarei Morfa ⁴

CUBA

Fecha de recepción: 15-VI-03

128-82

RESUMEN

El artículo que se presenta recoge los resultados de las investigaciones y el proyecto de restauración realizados a una de las obras más difundidas del movimiento moderno cubano, la Escuela de Artes Plásticas de Cubanacán, inscrita en la lista de monumentos de la World Monument Watch. El trabajo de investigación, de alto rigor científico, se llevó a cabo por un equipo multidisciplinario que tuvo a su cargo la determinación de las características y calidad de los materiales, los levantamientos dimensionales, tipológicos y patológicos, los agentes microbianos existentes y las formas estructurales empleadas y su comportamiento. En los estudios estructurales se emplearon diferentes técnicas de diagnóstico. El análisis de las causas y las soluciones estructurales se basó en modelos tridimensionales y planos automatizados, lo que facilitó la interpretación y análisis del origen de los daños y de sus vías de solución. La investigación corroboró que la dilatación térmica es la causa del agrietamiento, seguida de la humedad como segunda causa y, origen de gran parte de las lesiones presentes. Las soluciones tomadas están dirigidas a permitir que la estructura absorba las dilataciones térmicas y movimientos estructurales, sin crear riesgos adicionales a la edificación, así como sanear, consolidar o sustituir las zonas afectadas.

SUMMARY

This article that is presented picks up the results of the investigations and the restoration project carried out one of the diffused works in the Cuban modern movement, the School of Plastic Arts of Cubanacán, included in the list of monuments of the World Monument Watch. The investigative work, of high scientific rigor, was executed by a multidisciplinary team that was responsible for the determination of the characteristics and quality of the materials, the dimensional risings, of the types and of the pathology, the existent microbial agents, and the forms structural employees and its behaviour. In the structural investigations different techniques were used of diagnostic. The analysis of the causes and the structural solutions leaned on in three-dimensional models and automated planes, what facilitated the interpretation and analysis of the genesis of the damages and of their solution variants. The investigation corroborated that the thermal dilation is the cause of the cracking, accompanied by the humidity like its second cause and, origin of great part of the present lesions. The taken solutions are managed to allow that the structure absorbs the thermal dilations and structural movements, without creating additional risks to the construction, as well as to clean up, to consolidate or to substitute the affected areas.

¹ Facultad de Arquitectura, I S P J AE

² Empresa de Proyecto N° 2, MICONS

³ Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, MICONS

⁴ Centro de Investigaciones y Desarrollo de las Estructuras y los Materiales, Univ. Central de las Villas

INTRODUCCIÓN

En la década de los años sesenta, surge la idea de crear un conjunto de escuelas destinadas a la enseñanza del arte en el país. Las edificaciones, surgidas de la concepción original, se convirtieron rápidamente en las obras de la Arquitectura Moderna cubana más publicada y discutida después del triunfo revolucionario de 1959. En los primeros años de este siglo, se incluyeron en la lista de obras con riesgo de la World Monument Watch. El actual Instituto Superior de Arte, comprende cinco edificaciones independientes destinadas a las Escuelas de Artes Plásticas, Danza, Música, Ballet y Arte Dramático. Esta institución se concibió como un centro de enseñanza artística tricontinental, ubicado en los terrenos del exclusivo Country Club, en el período comprendido entre los años 1961 a 1963.

La connotación estética y formal de la obra y la polémica suscitada desde su surgimiento, son aspectos que se pueden obviar al reflexionar sobre su rescate. Las múltiples lecturas de sus espacios y las sensaciones que se perciben al transitar, después de casi cuarenta años de existencia, por sus galerías y espacios afectados por el tiempo y el descuido absoluto, no son ajenas ni a la nostalgia ni a la esperanza. Desde sus aulas y talleres se consolida toda una generación de artistas que prestigia la Cultura Nacional.

La diversidad de formas y estructuras manifiesta en las escuelas, asociada al uso generalizado de materiales de fabricación artesanal de diferentes calidades, hace muy complejo el análisis de los procesos patológicos presentes en las obras. La Investigación, solicitada por la dirección del Proyecto de Restauración, fue realizada por un grupo de especialistas de distintas ramas del conocimiento pertenecientes a los Ministerios de la Construcción, de Educación Superior y de Cultura de Cuba. El objetivo esencial de la misma era determinar las causas que originaron las lesiones existentes en la Escuela de Artes Plásticas y

estudiar las soluciones que darán respuesta a los problemas planteados. Diferentes etapas conforman el estudio previo, desde la fase preliminar hasta la de proyecto. La metodología y experiencia obtenida en este primer diagnóstico sirve de guía para los trabajos de investigación que se desarrollan en las restantes escuelas

Los estudios incluyeron, además, la determinación de los parámetros técnicos constructivos necesarios e indispensables para la realización del proyecto de restauración. El análisis colegiado estableció cuatro etapas esenciales: estudios preliminares, análisis del problema y formulación

de hipótesis, medición, auscultación, ensayos y modelación, y proyecto de restauración.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La investigación que se realiza al conjunto de Escuelas de Arte de Cubanacán comenzó por el diagnóstico y proyecto de restauración del plantel de Artes Plásticas. La recolección de toda la información gráfica, escrita, testimonial y fotográfica disponible hasta el momento, fue el primer paso. El Centro de Inversión del Ministerio de Cultura estuvo al frente de tan importante fase, propiciando las entrevistas y visitas de los restauradores e investigadores con los proyectistas arquitectónicos y estructurales de la escuela. La documentación técnica era escasa y precaria, lo cual no permitía conocer los antecedentes de diseño, ejecución y explotación de la edificación. Se orientaron auscultaciones puntuales de la cimentación, de las bóvedas y las cúpulas para determinar las dimensiones de todos los elementos, además de un levantamiento detallado. Junto a ello, se realizaron ensayos para la caracterización física, mecánica y térmica de los materiales (Figura 1). Se instaló un sistema de medición en tiempo real (Figura 2) para obtener la actividad de las grietas, relación con los parámetros climáticos y entre ellas. Este sistema propició el cálculo de las fuerzas actuantes en la edificación,

Figura 1.- Equipamiento empleado en la obra.

Figura 2.- Sistema de medición en tiempo real.

parámetro que fue empleado en los análisis de los modelos estructurales. También dio a conocer las dilataciones y contracciones existentes, la relación directa que existía entre los cambios de temperatura y los movimientos estructurales, entre otros aspectos.

En el estudio se comprobó que el hormigón armado sólo se empleó para reforzar los elementos de cerámica, con los que se logró los atrevidos y hermosos espacios interiores de la edificación. Así como, en las vigas de bordes o perimetrales de los pasillos abovedados, en las cimentaciones y en los anillos de las cúpulas (Figura 3). Las columnas de ladrillos se encuentran ubicadas equidistantes y se apoyan en cimientos aislados (Figura 4). Estos últimos se concibieron de forma ingeniosa, logrando que trabajen a carga axial solamente.

El análisis en los modelos planos y tridimensionales se efectuó en cuatro fases. En la primera se parte de las propiedades de los materiales reflejadas en la bibliografía y en la documentación técnica existente. En la segunda, se utilizan las obtenidas en los ensayos realizados en el laboratorio, la estructura, el sistema de instrumentación y las técnicas de modelación de ensayos virtuales. La tercera fase analizó el comportamiento de la estructura, simulando las lesiones estructurales existentes y la pérdida de capacidad portante. Esto posibilitó investigar el comportamiento actual de la edificación y validar las hipótesis y causas que propiciaron la problemática de la patología es-

tructural, así como su mecanismo. La última se destinó a comprobar la efectividad de las soluciones determinadas por el equipo de investigadores.

Para la determinación de las características mecánicas, Módulo de deformación [E] y Coeficiente de Poisson [μ] del material compuesto (mortero-ladrillo) de la columna, se procedió a la modelación de diversos ensayos virtuales de laboratorio por medios automatizados (computadora), tomando como base los datos obtenidos en el proceso de caracterización real de los materiales de forma aislada (Tabla 1). Una vez obtenidos dichos valores, se calibró el modelo inicial y se comprobó la validez de las diferentes modelaciones e hipótesis sobre el comportamiento de las columnas y la estructura en general. Para la determinación del módulo general de deformación de la columna compuesta de base cementicia, se realizaron ensayos a la compresión, a partir del modelo de una pilastra de ladrillo, por el método de los elementos finitos.

Conociendo las propiedades de cada uno de los materiales que conforman la columna, se procedió a la generación de la malla de elementos finitos y a la modelación. El objetivo era determinar las propiedades mecánicas de la columna como un elemento único. Se reprodujeron los

Figuras 3 y 4.- Cúpulas y bóvedas asimétricas. Columnas de ladrillo cerámico.

TABLA 1
Módulo de deformación de cada material empleado en las columnas

Material	Módulo de Deformación (KPa)	Coeficiente Poisson
Ladrillo	1.86×10^6	0.14
Mortero	1.18×10^7	0.17

ladrillos y los espesores del mortero con sus dimensiones reales, con el propósito de minimizar los efectos de escala que esto pueda traer aparejado. A partir de la creación del modelo se procedió a determinar los valores de deformación para diferentes escalones de cargas (Figura 5). Con estos resultados se concluyó que el valor del módulo general de deformación de la columna, valorada como material compuesto, es de $3,29 \cdot 10^6$ KPa. De forma análoga al procedimiento descrito anteriormente se estudió un modelo para el ensayo de compresión diagonal y un nuevo modelo, compuesto por losas rasillas y mortero, empleado en las bóvedas.

La modelación plana se utilizó para investigar los estados tensionales que se generaban en las columnas y vigas de refuerzo de las bóvedas. Para ello se utilizó un programa basado en el método matemático de los elementos finitos.

Los diferentes modelos planos posibilitaron conocer los estados tensionales y las zonas de posibles fallas (Figura 6).

Los resultados se calibraron con las mediciones a escala real para estimar las causas de las grietas de la estructura y sus posibles soluciones. Para proceder al análisis de la estructura se creó el esquema de cálculo considerando que la misma se encuentra en estado de deformación plana, para el caso de las bóvedas y vigas de borde o pretiles, y tensional plano, en el caso de las columnas. Para la correcta modelación se analizaron las diferentes etapas de su comportamiento. El modelo creado respeta la geometría de los elementos y los materiales presentes en la misma. En las zonas donde existen cambios de la geometría se densificó la malla, además de lograr la mayor equivalencia entre altura y ancho de los elementos utilizados. Se restringieron los desplazamientos en el sentido vertical y horizontal en la base de las columnas debido a la tipología utilizada en su construcción, que garantiza que no existan deformaciones

La fase de análisis del modelo plano de la bóveda y las vigas confirmó que existe una correspondencia entre las zonas de agrietamiento presentes en el monumento, con

los valores máximos de tracción que se obtenían en el modelo (Figura 7). Un análisis similar se hizo para las columnas, considerando cargas tangenciales y normales. Los resultados demostraron que las máximas tensiones se encuentran en las zonas de inflexión (Figura 8). Este comportamiento se previó, ya que se partió de que el estado de agrietamiento existente dependía del diseño geométrico de las columnas, ayudado por la acción de las fuerzas externas. Esto se comprobó con un nuevo análisis, donde se modeló una columna con iguales características, pero con una geometría donde se eliminaban los cambios bruscos de sección. El comportamiento de los estados de tensión en este nuevo elemento reafirmó el criterio de partida.

El análisis del modelo plano permitió concluir que los cambios en la geometría de las columnas o contrafuertes favorecen la concentración de tensiones en la zona y causa el agrietamiento de las mismas. Las características de los materiales empleados, conjuntamente con la presencia de la viga de cierre, ayuda al fallo en la parte superior de las columnas. El agrietamiento progresivo de los contrafuertes, provocó el agrietamiento en la cubierta

La modelación tridimensional se realizó utilizando el "software Stadd-III v.22.3 WM", el cual dispone de una biblioteca de elementos suficientemente amplia, donde existen casos similares a los que se presentan en la obra estudiada, además de un potente procesador gráfico para la creación y procesamiento de la respuesta de modelos estructurales. Se emplean elementos lineales para el caso de las columnas (contrafuertes), vigas en forma de arco y las vigas de bordes. Para el caso de las bóvedas y muros se emplearon elementos finitos que son los que modelan, geométrica y físicamente, el medio continuo que ocupan estas estructuras. Los elementos que se emplearon son de tipo "shell" planos de tres y cuatro nodos

La edificación fue modelada parcialmente (Figura 9), imponiéndole condiciones o restricciones de borde para realizar este tipo de estudio. Después de haber concebido y creado el modelo se identificaron y escogieron las zonas características a investigar, las cuales coincidieron con las lesiones de categoría grave, zonificadas en el proceso de levantamiento patológico de la edificación (Figura 10). Este estudio se realizó para varios estados de cargas y sus correspondientes combinaciones, con el objetivo de poder identificar cuál estado o combinación es la causante de los daños estructurales estudiados. Esto permitió tomar soluciones consecuentes en el proyecto de restauración, basadas en las causas que provocaron dicho estado patológico.

Con este análisis se demostró que los fallos ocurridos en las bóvedas y semicúpulas, específicamente en las zonas de las intersecciones entre pasillos, son causados esencialmente por efectos de la temperatura, aunque se evidencian concentraciones de tensiones producidas por las cargas verticales como: permanentes y sus incrementos,

Figura 5.- Ensayo y comportamiento del modelo de la columna.

Figura 6.- Estados tensionales en el modelo plano. Deformada.

Figura 7.- Zonas de tracciones en la bóveda.

Figura 8.- Fallo estructural en las columnas.

Figura 9.- Modelo tridimensional de la edificación.

Figura 10.- Zonas seleccionadas para estudiar en el modelo.

de uso y sobrecargas (Figuras 11 y 12). Este fenómeno está causado además, por los cambios significativos de la densidad de los materiales y el incremento de carga ocasionado por el deficiente funcionamiento de los desagües pluviales (gárgolas y bajantes). Las grietas y fisuras longitudinales a lo largo de todo el pasillo fueron justificadas y validadas en el estudio de la modelación plana y espacial de la estructura. Como ya se explicó, la influencia de los incrementos de las cargas verticales provocó un mecanismo de falla que comienza en las columnas y se trasmite, ocurriendo de forma simultánea en la bóveda. Este aspecto también se validó y demostró en el análisis espacial realizado después de haber calibrado el modelo.

Los defectos ocurridos en los contrafuertes o columnas ocurrieron por la acentuación de las cargas verticales, combinados por los efectos de la temperatura, principalmente en las zonas de inflexión, zonas curvas y en la intersección de los pasillos. Este incremento está relacionado con el alto nivel de porosidad y absorción de agua de los ladrillos, rasillas, que hacen que la densidad de los materiales sea mayor, unido a la acumulación de agua ya explicada. La falta de juntas de dilatación, en los pasillos abovedados con más de 50 metros de longitud en la edificación, agrava aún más el problema existente.

Todos los resultados de las etapas de la investigación patológica se reflejaron en una base de datos y en un sistema de información geográfico (Figura 13). La base de datos fue elaborada a partir de la investigación preliminar de campo, donde se ubicó y describió cada grieta y proceso

patológico existente en los elementos constructivos estudiados. A partir de la confección de este soporte automatizado, el equipo de investigadores realizó la interpretación de los resultados y la relación entre las lesiones y causas. Esta forma de organizar la información permite disponer de una fuente de gran utilidad, la que puede procesarse y actualizarse continuamente. Constituye un instrumento fundamental para los investigadores, restauradores e inversionistas. Las soluciones de la totalidad de las lesiones se plasmaron en fichas técnicas y planos, donde se explicó detalladamente los pasos y procesos que debía ejecutar el equipo de restauración.

El proyecto de restauración está dirigido a disminuir los estados tensionales en los elementos estructurales. Para ello se plantea la realización de juntas de dilatación térmicas en las zonas de intersección de los pasillos, las que previamente se simularon y comprobaron en el modelo tridimensional y plano. Además, se crea un núcleo rígido en las columnas

CONCLUSIONES

Las fallas estructurales presentes en el monumento se deben, esencialmente, a las escasas juntas de dilatación y estructurales de la obra, al empleo de geometrías que intensifican los estados tensionales y a la acción de la intemperie. Junto a ello, los efectos de dilatación y contracción que ocasiona la temperatura, el incremento de carga por saturación del material, la mala explotación y la ausencia de mantenimiento.

Figura 11.- Estados tensionales por combinación de CP, CU y temperatura. Fallo en la semicúpula del pasillo principal

Figura 12.- Estados tensionales por combinación de CP, CU y temperatura. Fallo en la intersección de la bóveda secundaria con el pasillo principal.

Figura 13.- Sistema geográfico en ARCVIEW. Planos temáticos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al resto del equipo, sin el cual no se hubiera podido llevar a cabo tan importante trabajo, su colaboración y dedicación, la cual fue decisiva, y que son:

R. Guevara Muñoz, L. O. Ibáñez Mora, C. Aira, F. A. Díaz Vargas, C. O. Núñez, M. García Díaz, M. A. Alonso Bordon, A. Fernández, P. M. Molinero Rodríguez, O. Pérez Arencibia, V. Pita Bravo, L. García Pedrero, R. Gayoso, R. Ruiz Vaquero y C.D. Gayoso Rosabal