

REHABILITACIÓN SÍSMICA DE UNA BODEGA DE ADOBE

Francisco J. Crisafulli

Ingeniero Civil

Profesor Titular Área Estructuras

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza, 5500.

RESUMEN

Las construcciones de adobe exhiben usualmente problemas estructurales y de durabilidad. Esta situación se agrava cuando la construcción se ubica en zonas sísmicas, debido a la baja resistencia a tracción del adobe, que le impide soportar los esfuerzos de flexión originados por la acción lateral. Además, el uso del adobe conduce a construcciones masivas, aumentando significativamente las fuerzas de inercia inducidas por el sismo. Es por ello que en numerosas jurisdicciones del país, el uso del adobe está prohibido para construcciones nuevas. Sin embargo, existen situaciones en las que es necesario aplicar técnicas de reparación y refuerzo para preservar edificios que resultan de interés arquitectónico o histórico.

Se presenta en este trabajo un caso práctico de rehabilitación de una construcción de adobe ubicada en la Provincia de Mendoza, en la cual el efecto de la acción sísmica representa la condición más desfavorable para el diseño estructural. Dicho diseño también se vio condicionado por requerimientos funcionales necesarios para integrar la construcción existente con nuevas edificaciones. Se describe en el trabajo los criterios seguidos para el análisis estructural como así también la solución adoptada para reparar la construcción existente y aumentar el desempeño, en términos de resistencia lateral y ductilidad, ante acciones sísmicas.

ABSTRACT

Adobe constructions usually exhibit durability and structural problems. In seismic regions, the situation is worst due to the low tensile strength of the material, which results in very low flexural strength under lateral loading. Furthermore, the use of adobe produces massive constructions, which increases significantly the inertial forces induced by earthquakes. For these reasons, the adobe is forbidden in most regions of the Argentina for new constructions. However, in buildings with historical or architectural interest it is convenient to preserve these building by applying retrofitting techniques.

This paper presents the retrofitting of an adobe building located in Mendoza, in which the seismic loading represent the most unfavorable condition for the structural design. The process of retrofitting was also conditioned by functional requirements in order to integrate the existing construction with a new building. The paper describes the general criterion followed in the structural analysis and the solution adopted to retrofit the adobe building with the aim of improving the performance in terms of both lateral resistance and ductility.

1. INTRODUCCIÓN

El adobe es uno de los materiales de construcción más antiguos, pero presenta un pobre comportamiento estructural, especialmente en construcciones ubicadas en zonas sísmicas. Ello es el resultado de una reducida (casi nula) resistencia a tracción en combinación con una masa elevada de la construcción (muros de gran espesor) que incrementa los efectos inerciales originados por el sismo. A estos problemas estructurales hay que agregarles otras desventajas vinculadas a la durabilidad de la construcción y a condiciones sanitarias. A pesar de estos inconvenientes, el adobe presenta algunas ventajas arquitectónicas y funcionales. En algunos países se han desarrollado investigaciones tendientes a mejorar la respuesta y conferir a la estructura cierto grado de resistencia sísmica¹.

En Argentina, la construcción de edificaciones nuevas de adobe se encuentra prohibida en muchas jurisdicciones. Sin embargo, existen construcciones antiguas de interés arquitectónico o con valor histórico, en las cuales se justifica realizar tareas de rehabilitación que permitan mejorar la respuesta estructural. Para ello, debe realizarse un diagnóstico sobre la construcción existente y, a partir de una evaluación estructural, determinar una solución conveniente para el caso en estudio.

Se describe en el presente trabajo las características de una construcción de adobe cuyo propietario quiso revalorizar e integrar en un amplio proyecto de una nueva bodega para elaboración de vinos. Para ello se realizó un relevamiento de la estructura existente y a partir de ello se elaboró un diagnóstico sobre los problemas que debían solucionarse para conferir a la estructura un grado razonable de seguridad. Con este criterio se preparó una solución para rehabilitar la construcción, teniendo en cuenta no solo aspectos estructurales, sino también requerimientos arquitectónicos y funcionales propios del destino de la edificación.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CONSTRUCCIÓN

La construcción en estudio es un edificio de muros de adobe, con espesor de 0.8m, construido a principios del siglo XX. La cubierta a dos aguas esta formada por un entramado de caña cubierto por chapas metálicas acanaladas. La misma esta soportada por correas madera dispuestas en la dirección de la pendiente de la cubierta, las que apoyan sobre vigas secundarias de madera y éstas sobre vigas reticuladas de madera. Las dimensiones globales de la nave son 31.0 x 10.6 m (ver Fig. 1), con una altura de muros de 6.2m (ver Fig. 2).

La construcción forma parte de una bodega para elaboración de vinos y en su interior se agregaron posteriormente una serie de piletas de hormigón armado, dispuestas en dos niveles. A pesar de la antigüedad de los muros de adobe se observó, en general, que el estado de conservación de los mismos era muy bueno. Al momento de iniciar los trabajos de rehabilitación se realizo un relevamiento detallado sobre el estado del edificio, detectándose diversos problemas que debían solucionarse para que el mismo fuese operativo.

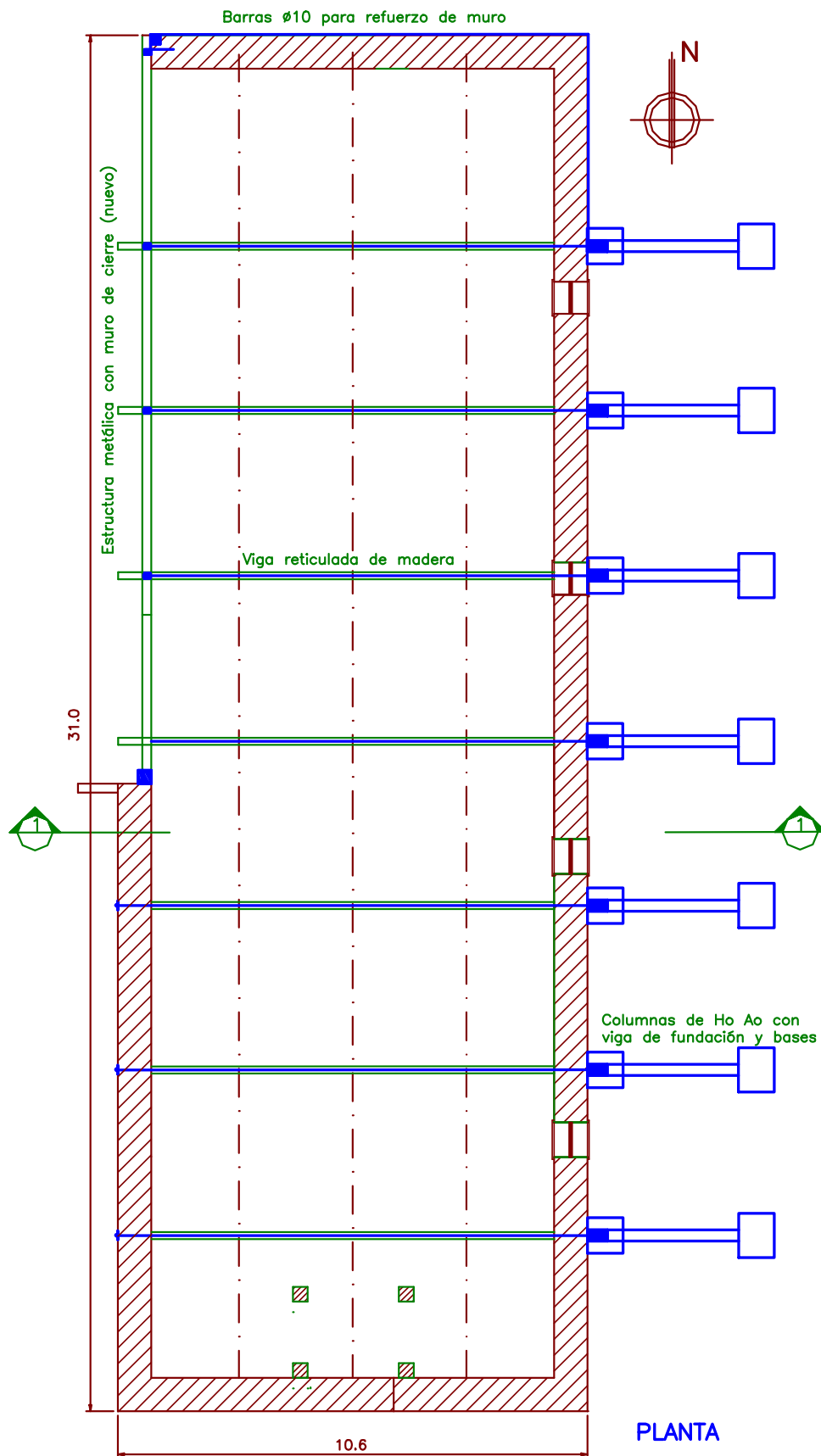


Figura 1. Planta general de la nave de adobe.

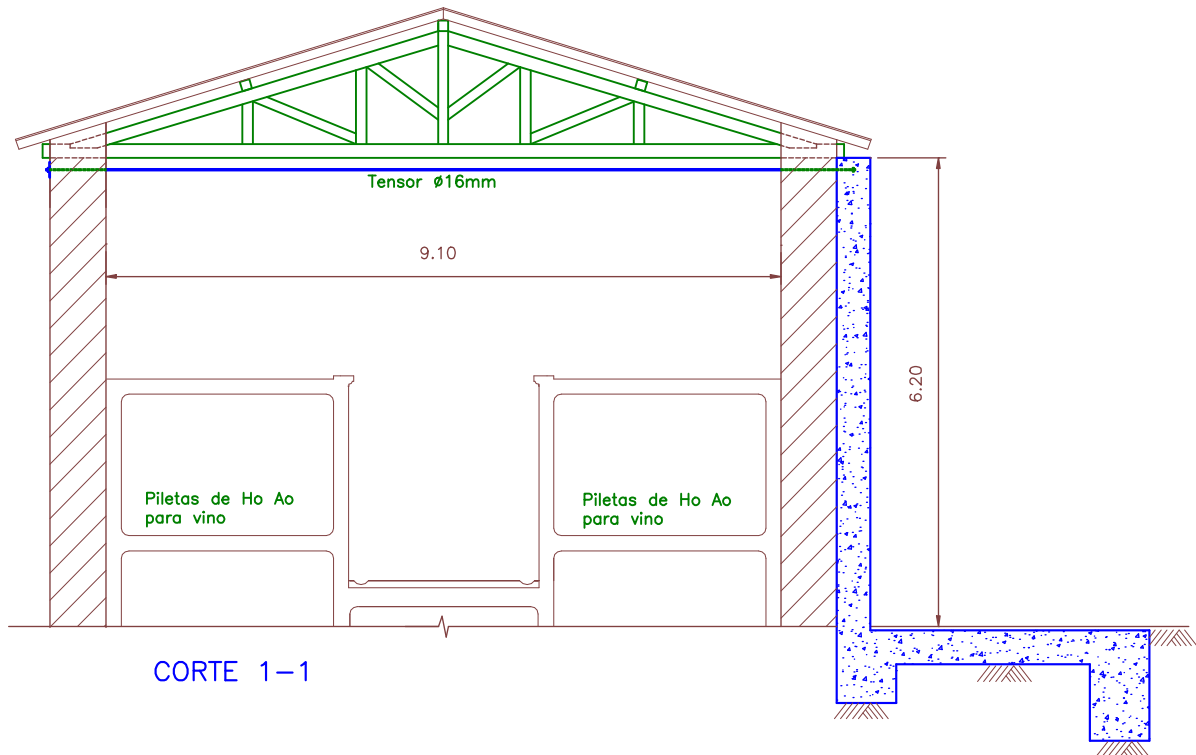


Figura 2. Corte transversal de la construcción.

Desde el punto de vista estructural, los mayores problemas detectados fueron los siguientes:

- a) Los elementos del cordón superior de las vigas reticuladas presentaban grandes deformaciones por flexión, debido a que las vigas secundarias no apoyaban en los nudos del reticulado sino en los tramos intermedios, ver Fig. 3.



Figura 3. Vista de la estructura de techo antes de la rehabilitación.

- b) Los nudos de las vigas reticuladas presentaban deficiencias, observándose en algunos casos que los elementos del reticulado se habían desplazado en forma relativa.
- c) Los muros de adobe no disponían de ningún tipo de vinculación interna y las vigas reticuladas apoyaban directamente sobre ellos sin dispositivos adecuados de conexión.



Figura 4. Vista del apoyo de la viga reticulada de madera sobre el muro de adobe.

- d) Parte del muro de adobe del sector Oeste (ver Fig. 1) había sido demolido por razones desconocidas y las vigas reticuladas se encontraban apuntaladas en forma precaria y por ende peligrosa.
- e) El muro de adobe del sector Norte presentaba fisuras verticales en la unión con el muro Este.
- f) Los muros de adobe, por su altura y gran masa, no presentaban resistencia adecuada antes acciones sísmicas, considerando que la construcción está emplazada en zona sísmica 4, según el Reglamento INPRES-CIRSOC 103².

3. CRITERIO DE REHABILITACIÓN

A partir del diagnostico realizado sobre el estado de la construcción se planteó un criterio general para la rehabilitación, dado que no siempre es posible alcanzar el nivel de seguridad que la normativa vigente^{2, 3} exige a las construcciones nuevas. De común acuerdo con la autoridad de aplicación, se convino que se realizarían todas las reparaciones necesarias para reforzar la estructura de cubierta y para asegurar la estabilidad de los muros de los muros de adobe. Con respecto a la

verificación sísmica de dichos elementos, se acordó que las acciones de diseño para este caso particular se obtendría a partir de considerar el 60% de la acción sísmica requerida por el código para el caso de edificaciones nuevas. Esta pauta fue necesaria para permitir alcanzar una solución aceptable desde el punto de vista económico y funcional. Caso contrario la construcción tendría que haber sido demolida, con una pérdida importante para el patrimonio arquitectónico de Mendoza.

El criterio de diseño expuesto previamente fue adoptado para diseñar la rehabilitación estructural que contemplara los problemas descriptos en la Sección 2. Los aspectos principales de la solución adoptada se presentan a continuación.

4. SOLUCIÓN ESTRUCTURAL ADOPTADA

4.1 Cubierta y estructura de madera

Se planteó una reparación general y refuerzo de las vigas reticuladas para lo cual se realizaron distintas tareas. En primer lugar se agregaron montantes y diagonales, como se indica en la Fig. 5, para evitar la flexión en el cordón superior. De esta forma se logró mejorar significativamente el comportamiento de la estructura, disminuyendo los momentos flectores, si bien los esfuerzos axiales permanecen sin variaciones de importancia (ver diagramas de solicitaciones en Figs. 6 y 7).

Adicionalmente, se reforzaron los nudos agregando platinas de acero de 4.8mm de espesor, 150mm de ancho y largo variable, las cuales fueron clavadas a los elementos de madera, como se muestra en la Fig. 8. Similar solución se aplicó en algunos tramos del cordón inferior de la viga que se encontraban excesivamente agrietados.

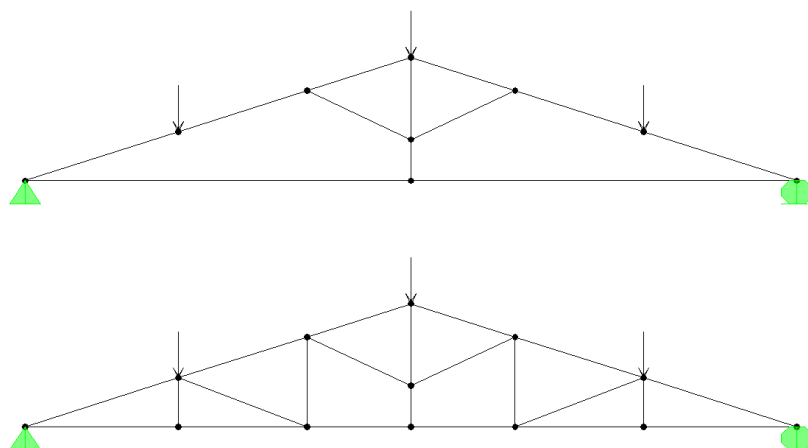


Figura 5. Modelo estructural de la viga reticulada antes de la reparación (parte superior) y luego de la misma (parte inferior).

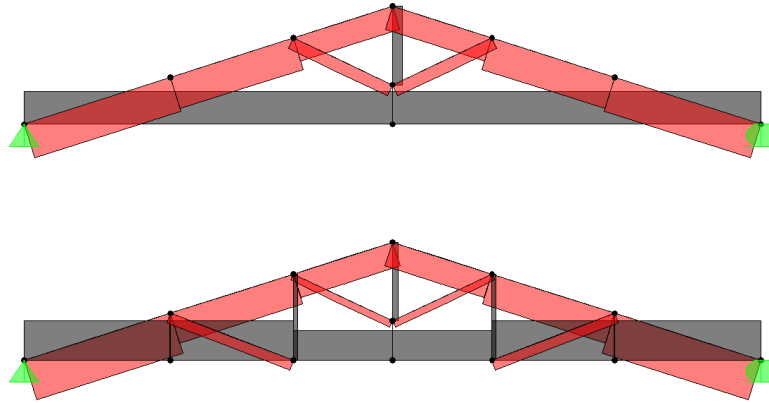


Figura 6. Diagrama de esfuerzos axiales en la viga reticulada antes de la reparación (parte superior) y luego de la misma (parte inferior).

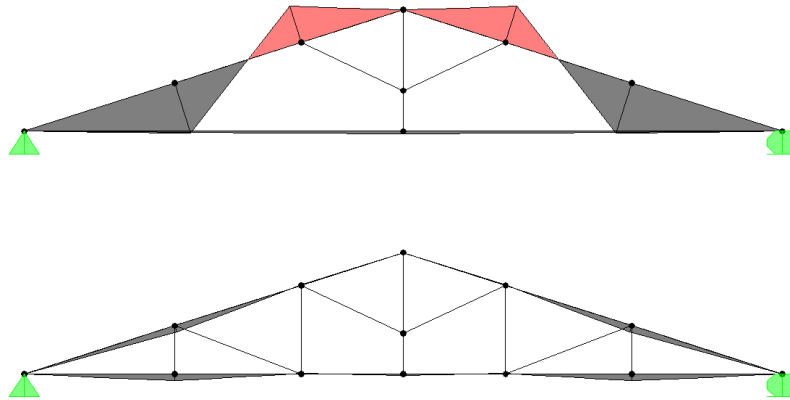


Figura 7. Diagrama de momentos flectores en la viga reticulada antes de la reparación (parte superior) y luego de la misma (parte inferior).



Figura 8. Vista de la viga reticulada luego de la rehabilitación.

4.2 Muros de adobe

La estabilidad de los muros de adobe ante la acción del sismo constituyó uno de los objetivos principales del proceso de rehabilitación. La solución adoptada consideró condicionantes funcionales y arquitectónicos que impedían el planteo de refuerzos en la parte exterior del muro Oeste. Es por ello que se decidió emplear columnas de hormigón armado, de 0.30 x 0.50 m de sección, las cuales se ubicaron en la parte exterior del muro Este, en correspondencia con cada una de las vigas reticuladas de la cubierta. Dichas columnas se fundaron sobre bases de hormigón armado y se dispusieron vigas de fundación para asegurar la resistencia al vuelco de la columna. La estructura de refuerzo se muestra en las Figs. 1 y 2 con líneas de color azul.

A los efectos de dimensionar la estructura de refuerzo de hormigón armado se planteó un modelo estructural, en el cual se buscó priorizar la simplicidad del mismo, considerando las grandes incertidumbres existentes con respecto a las propiedades y comportamiento de los muros de adobe. Las características principales del modelo se ilustran en la Fig. 9, donde se observan dos columnas representando los muros de adobe, una columna y viga de fundación adyacentes al muro de la derecha y una viga que representa la vinculación entre muros a nivel de la estructura de cubierta.

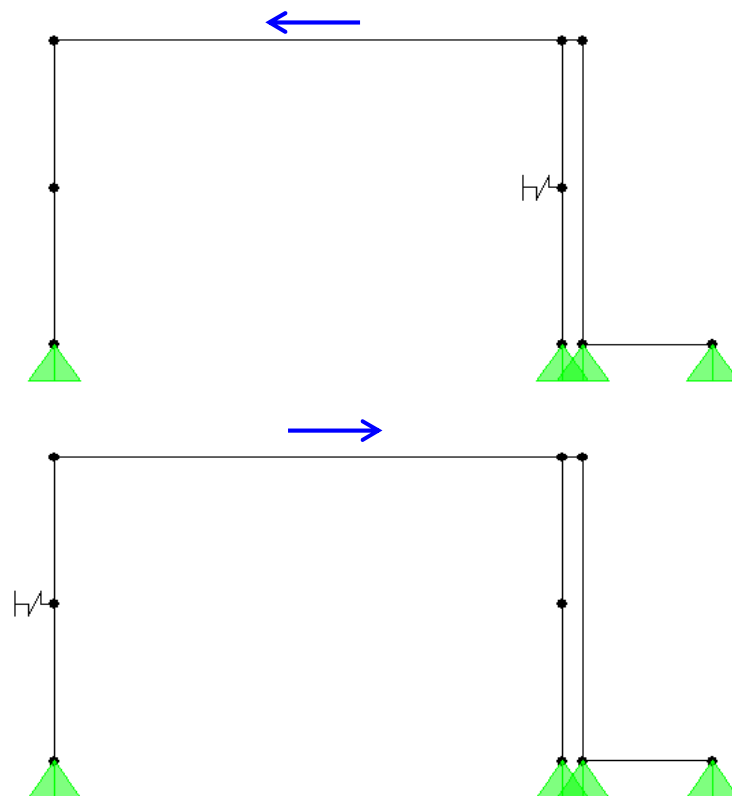


Figura 9. Modelo estructural adoptado para verificar el refuerzo de los muros de adobe.

El efecto de las piletas de hormigón armado existentes en el interior de la nave (ver Fig. 2), se representó mediante un resorte horizontal ubicado a media altura del muro. Ante la acción del sismo se produce el desplazamiento lateral de la estructura, de modo que uno de los muros se apoya en las piletas de hormigón armado mientras que el otro se separa. Es por ello que se consideraron dos casos, disponiendo ese resorte horizontal alternativamente en uno u otro muro, dependiendo de la dirección considerada para la fuerza sísmica

En la Fig. 10 se presentan los diagramas de momentos flectores obtenidos del análisis estructural. Las solicitaciones resultantes se usaron para el dimensionado de la estructura de hormigón armado y para la verificación de los muros de adobe.

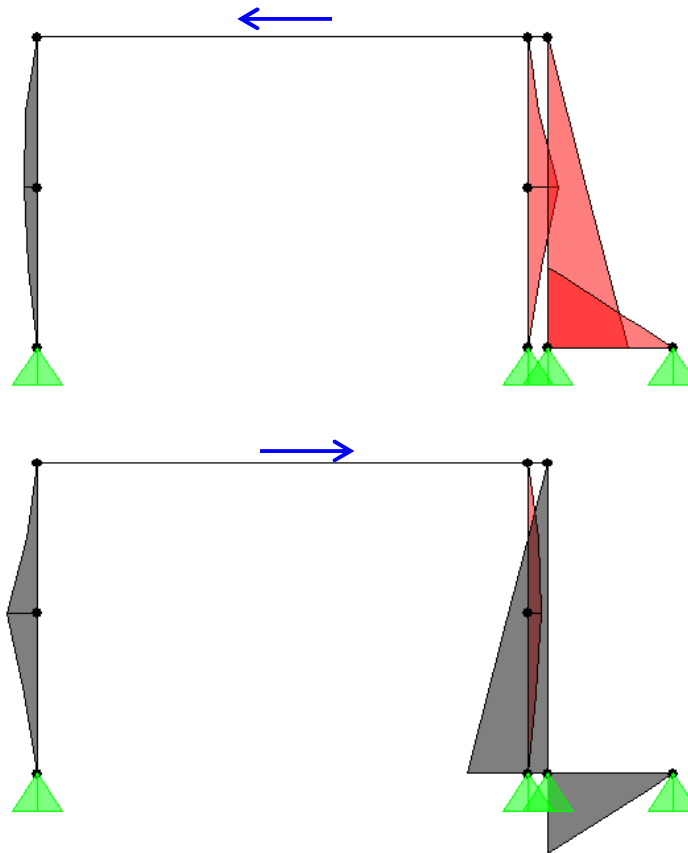


Figura 10. Diagrama de momentos flectores en la Modelo estructural adoptado para verificar el refuerzo de los muros de adobe.

Con el objeto de lograr una vinculación adecuada a nivel de cubierta se dispuso un tensor de acero, de 16mm de diámetro, el cual se ancló en un extremo a la columna de hormigón armado. Para el anclaje del otro extremo se atravesó el muro de adobe y se dispuso de una platina de acero de dimensiones 200x200x9mm, destinada a redistribuir el esfuerzo del tensor sobre la cara externa del muro, como se indica en la Fig. 11. Además se dispuso una platina de acero en forma de L para mejorar la vinculación entre la viga reticulada y el muro de adobe.

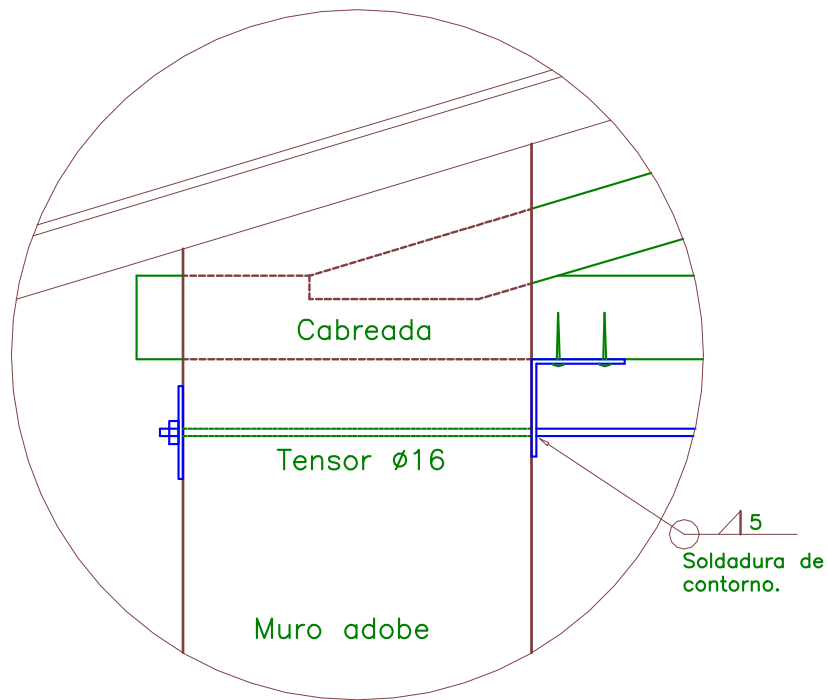


Figura 11. Detalle del apoyo de la viga reticulada y su vinculación al muro.

En las fotografías incluidas en las Figs. 12 y 13 se muestran las columnas de refuerzo durante la construcción y luego de finalizar la misma. Como se observa en la última imagen, los muros de adobe fueron revocados con mortero para mejorar la durabilidad e impedir el ingreso de humedad y agua de lluvia.



Figura 12. Vista del muro Este durante la construcción de las columnas de refuerzo.



Figura 13. Vista del muro Este luego de la reparación.

4.3 Cierre del muro demolido

Como se indicó previamente, parte del muro Oeste había sido demolido y las vigas reticuladas de madera se encontraban apuntaladas en forma precaria. Es por ello que se diseñó y construyó una estructura metálica destinada a resistir la carga gravitatoria transmitida por las vigas de madera y a proveer estabilidad lateral al muro Norte (muro posterior) de la nave. Para este último objetivo se dispusieron arriostramientos diagonales en dos de los vanos de la estructura metálica, como se indica en la Fig. 14. La estructura metálica se fijó, en su parte inferior, a una viga de fundación de hormigón armado.

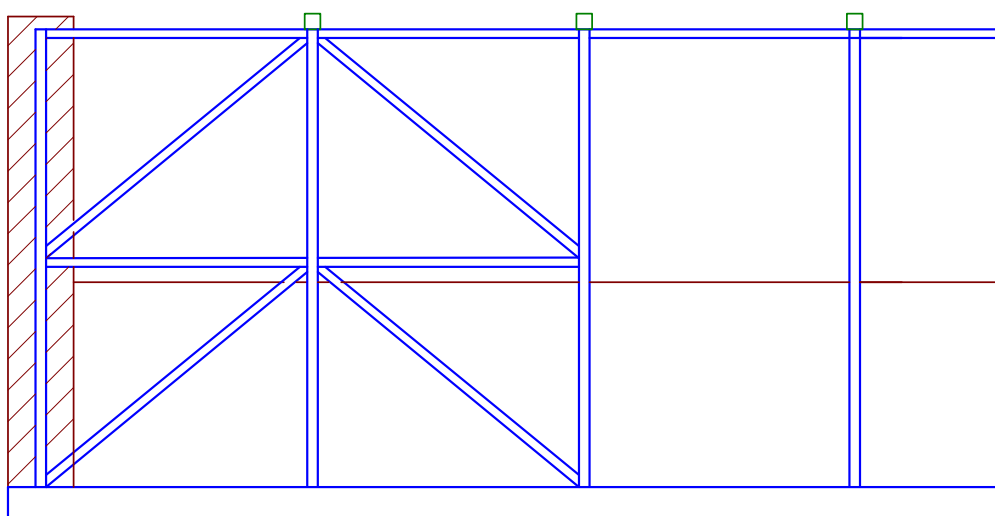


Figura 14. Esquema de la estructura metálica construida para soportar las vigas reticuladas y arriostrar el muro transversal.

La vinculación entre la estructura metálica y el muro de adobe, muro Norte, se logró mediante barras de acero para refuerzo ϕ 10, las cuales fueron “clavadas” en el muro de adobe con una separación de 0.5m y penetrando una longitud de 0.40 m como mínimo. El extremo saliente de dichas barras fue soldado a la columna de acero.

Luego de finalizada la estructura metálica se colocó un aislante térmico y dos mallas de acero sobre las cuales proyectó mortero para formar los muros de cierre de la nave.

4.4 Refuerzo en las esquinas de muro

Con el objeto de mejorar la estabilidad al vuelco del muro Norte ante acciones sísmicas perpendiculares a su plano, se emplearon una serie de barras de acero se sección circular maciza, ϕ 10, dispuestas en la parte superior del muro (ver Fig. 1). Dichas barras actúan como zunchos, vinculando el muro Norte con los muros perpendiculares a él. Un extremo de las barras se ancló en la columna de hormigón armada construida como parte de la rehabilitación de la nave (sobre muro Este), mientras que el otro extremo se soldó a la columna metálica extrema del muro Oeste. La Fig. 15 muestra una imagen de este último detalle. Las barras de acero, luego de posicionadas y tensadas, se cubrieron con mortero de cemento por razones arquitectónicas.



Figura 15. Vista del encuentro de los muros Norte y Oeste.

5. CONCLUSIONES

Se describe en este trabajo el caso de una construcción de adobe que fue rehabilitada con el objeto de reforzar la estructura de cubierta y de mejorar la estabilidad y resistencia de los muros ante acciones sísmicas. De esta forma se buscó preservar una construcción antigua de interés arquitectónico, que se integró a una bodega para elaboración de vinos.

La solución adoptada para la rehabilitación sísmica consistió en disponer columnas de hormigón armado en la parte exterior de uno de los muros capaces de resistir el 60% de la acción sísmica requerida por el código para el caso de edificaciones nuevas. La vinculación entre muros se mejoró a través de una modificación en la estructura de cubierta, disponiendo de tensores anclados adecuadamente en las nuevas columnas de hormigón armado y en los muros de adobe opuestos a éstas.

Finalmente se destaca que gracias a una adecuada interacción entre los responsables del proyecto arquitectónico, el ingeniero estructural y la autoridad de aplicación permitió recuperar un edificio de interés arquitectónico. En este proceso se alcanzó una solución de compromiso entre requerimientos estructurales y condicionantes de índole funcional y arquitectónica.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Blondet, M., Villa García, G. y Brzev, S. Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos: Tutor. Pontificia Universidad Católica del Perú. Contribución a la Enciclopedia Mundial de Vivienda del EERI/IAEE (www.world-housing.net). Abril 2003.
2. Reglamento INPRES-CIRSOC 103: Normas Argentinas para Construcciones Sismorresistentes. 1982
3. Código de Construcciones Sismorresistente de Mendoza. 1987.