

Disipación de la energía sísmica en un retablo de dos o más cuerpos y su repercusión en el estado de conservación

Arturo Sebastián Casasola Busteros*

*Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural
Instituto Nacional de Antropología e Historia

Resumen

El objetivo de este texto es destacar ciertos aspectos técnicos que caracterizan el sistema constructivo de muchos retablos en madera ensamblada y policromada y, a partir de ello, realizar una reflexión sobre los posibles comportamientos y daños previsibles de los retablos ante un sismo, con la finalidad de hacer énfasis en los puntos críticos a revisar en su estructura luego del temblor. Lo anterior permitirá, a su vez, ejercer criterios básicos ante una posible acción en materia de protección, resguardo o intervención emergente en este tipo de bienes culturales.

Palabras clave

Retablo; estructura; ingeniería sísmica.

Abstract

The aim of this text is to highlight certain technical aspects that characterize the constructive system of many altarpieces in assembled and polychrome wood and, from there, reflect on the possible behavior of the altarpieces in the face of an earthquake and the foreseeable general damages with an emphasis on the critical points to be checked in its structure after the tremor. This in order to approach the understanding of this type of damage in the altarpieces and, through this knowledge, to have the basic criteria before a possible action in terms of protection, shelter or emergent intervention of this type of cultural assets.

Keywords

Altarpiece; structure; seismic engineering.



Al observar la respuesta inmediata por parte de la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural (CNCPC) ante los daños causados al patrimonio por los sismos del 17 y 19 de septiembre de 2017. Consideré pertinente compartir parte de una investigación que estoy desarrollando con respecto a los efectos que se producen en los retablos al modificar el sistema de sujeción original.

Comportamiento de cargas y condición de sujeción

Los retablos de dos o más cuerpos generalmente están formados por módulos que se superponen unos a otros para construir nuevos cuerpos. En el desplante de cada cuerpo así como en su base, los módulos se encuentran simplemente apoyados entre sí, a esto se le conoce en la ingeniería como apoyo libre, y como su nombre lo indica, no presenta restricción contra la traslación y rotación. Un retablo permanecerá en estado estático mientras no se ejerza una fuerza que lo haga cambiar de un estado de reposo a uno dinámico, en este caso, esa fuerza podría ser producto de un sismo.

Otros elementos fundamentales en la estructura de los retablos son los tensores, que cumplen con tres funciones principales: evitar la traslación, la rotación libre y contrarrestar los esfuerzos cortantes que inducen al retablo al volteo en un momento dinámico, puesto que estos elementos horizontales soportan esfuerzos de tensión y contracción; asimismo, homologan los desplazamientos laterales a los del muro. Los tensores normalmente están colocados estratégicamente sobre los entablamentos de cada cuerpo del retablo, mientras que en su otro extremo suele estar ahogados en el muro.

Partiendo de la premisa de que un retablo es un elemento vertical autoportante e interconectado al edificio por medio de tensores, se asume que responde de manera similar a las leyes estáticas y dinámicas del resto del edificio, aunque, por supuesto, existen pequeñas variantes en la respuesta dinámica durante un sismo. El retablo, al estar solamente sujeto por los tensores al edificio se torna más flexible y disipa de forma diferente la energía transmitida ya que el muro testero trabaja como un solo elemento estructural, con un centro de carga, mientras que el retablo tenderá a articularse por secciones a través de los tensores, de eso deriva la complejidad del caso (Figura 1).

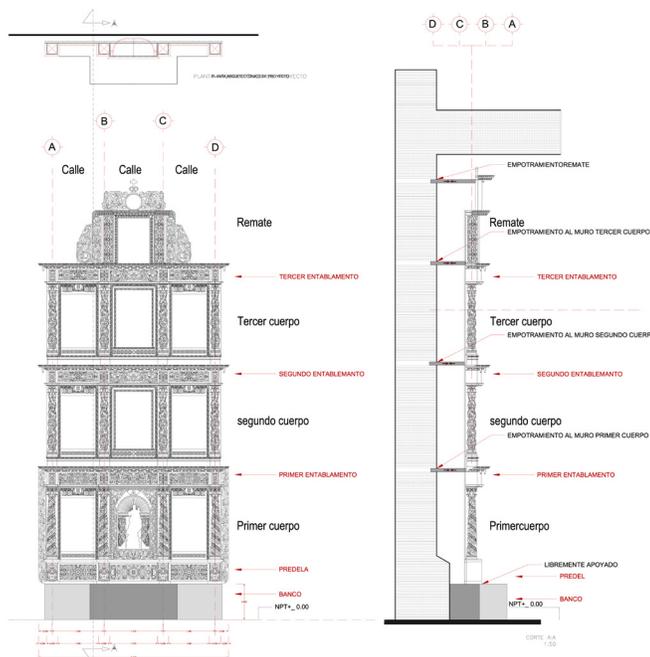


Figura 1. Frente y corte arquitectónico de una recreación de un retablo de 3 cuerpos. Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, 2018.



Conocimientos fundamentales de la ingeniería sísmica

La ingeniería sísmica es un campo de especialización que requiere de muchos años de estudio que demandan la comprensión de matemática avanzada y rigor científico. Para el caso que se presenta, emplearé los conceptos básicos comprobados por los especialistas y los llevaré al ejemplo de un retablo de dos o más cuerpos, para comprender los posibles comportamientos y daños que pueden tener frente a un movimiento telúrico.

Cuando la vibración de un sismo que corre por la superficie de la tierra, hace contacto con la cimentación de un edificio, ésta asciende por su estructura y genera un comportamiento de acuerdo con las características del inmueble. Se supone que las estructuras verticales pueden sufrir deformaciones transversales o de cortante en su plano vertical, estas últimas se comportan de diferentes formas según de la altura de inmueble. De acuerdo con Acuña (2015: 1), dependiendo del tipo de construcción la energía que recibe una estructura durante un terremoto puede ser soportada de tres maneras diferentes:

1. Por resistencia. Consiste en dimensionar los elementos estructurales de tal modo que tengan suficiente resistencia como para soportar las cargas sísmicas sin romperse. Éste método requiere unas sobredimensiones bastante importantes de los elementos estructurales y tiene algunos riesgos de rotura frágil.
2. Por ductilidad. Consiste en dimensionar los elementos de tal manera que parte de la energía del sismo sea disipada por deformaciones plásticas de los propios elementos estructurales. Esto implica que la estructura recibirá daños en caso de sismo, pero sin llegar a colapsar. Reduce el riesgo de rotura frágil y la dimensión necesaria de los elementos estructurales es bastante menor.
3. Por disipación. Consiste en introducir en la estructura elementos cuyo fin es disipar la energía recibida durante un terremoto, y que no tienen una función resistente durante el resto de la vida normal del edificio.

Aunque los templos en México fueron erigidos con un sistema rígido, el junteado con morteros de cal, permite cierta ductilidad. Reduciendo las posibilidades de colapso del edificio.

Para poder integrar estos conceptos al ámbito de los retablos, se retomarán algunos principios fundamentales de la ingeniería sísmica y de las estructuras:

- Toda estructura elimina la energía de un sismo mediante deformaciones.
- Las estructuras tienen una frecuencia de vibración, si ésta coincide con la frecuencia externa entonces entra en resonancia, aumentando significativamente sus deformaciones y aceleraciones (Wolti, 2009: 2).
- La fuerza genera una aceleración y una reacción de restauración¹ que se dirige siempre a la posición de equilibrio (Medina, 2009: 1).
- Las deformaciones en los edificios se dan principalmente en tres diferentes modos (Figura 2). La mayor deformación en un edificio se da en el primer modo porque la trayectoria vectorial o las fuerzas inerciales se dan en un sentido, causando la "cortante basal" (Domínguez, 2014: 3).
- Una estructura puede vibrar en uno o varios modos.

¹ Acción de dirigiese siempre hacia la posición de equilibrio central. (Medina, 2009: 1)



- En los consecutivos modos, van aumentando las aceleraciones de la frecuencia dinámica, ya que las trayectorias se reparten en sentidos opuestos en los nodos superiores, dando pie al “efecto latigazo” (Domínguez, 2014: 6) teniendo como resultado grandes fuerzas y esfuerzos en la parte superior.
- Las estructuras son sistemas de muchos grados de liberación porque tienen muchos modos de vibración, cada uno con su propia frecuencia, dependiendo de sus características de altura, rigidez y masa (Welti, 2009: 4).

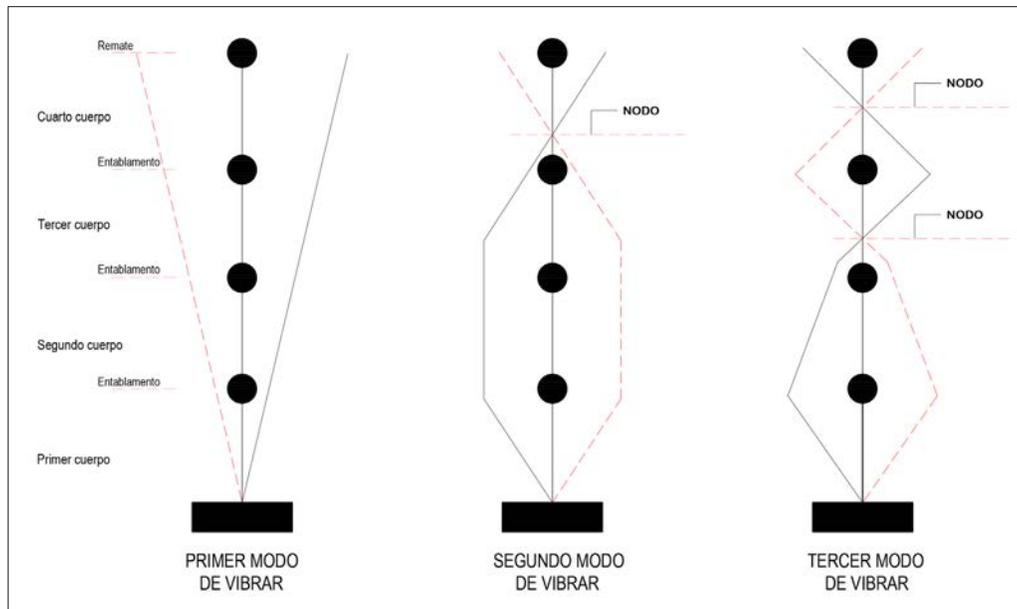


Figura 2. Los tres primeros modos de oscilación de un edificio de cuatro pisos. Imagen: Basada en dibujo de Welti (2009: 2), ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, 2018.

Hipótesis de respuesta sísmica de un retablo de dos o más cuerpos que esté interconectado al muro por medio de tensores

Los retablos de un solo cuerpo, al tener una sola masa, vibran en modo fundamental o primer modo y con periodos cortos. En este caso son muy evidentes y fáciles de identificar los daños que pudieran presentar. Cabe señalar, que en este texto, sólo se considerarán los retablos de dos o más cuerpos porque, a mayor longitud vertical, es mayor la complejidad de la respuesta dinámica ante el sismo y además de aumentar los puntos de cortante.

Como ya se mencionó, las ondas sísmicas son proyectadas a las estructuras verticales. El punto de una onda estacionaria cuya amplitud es cero, en cualquier momento se le conoce como nodo, mientras que, el punto intermedio de cada par de nodos, en donde se produce la amplitud de vibración máxima, se denomina vientre o antinodo.

Para los retablos de dos o más cuerpos, podría considerarse que el nodo se ubica en el centro de masa del entablamiento de cada cuerpo, que a su vez, es la concentración de cargas. Asimismo, tomando en cuenta que las conexiones del retablo al muro se encuentran ubicadas generalmente en los entablamientos por medio de los tensores, los antinodos estarían ubicados en esos puntos, aunque en cada modo de vibrar, los nodos y antinodos pueden cambiar su posición como se ejemplifica en las siguientes imágenes (Figuras 3A, 3B, 3C y 3D).





Figura 3A. Estado estático. Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, 2018.



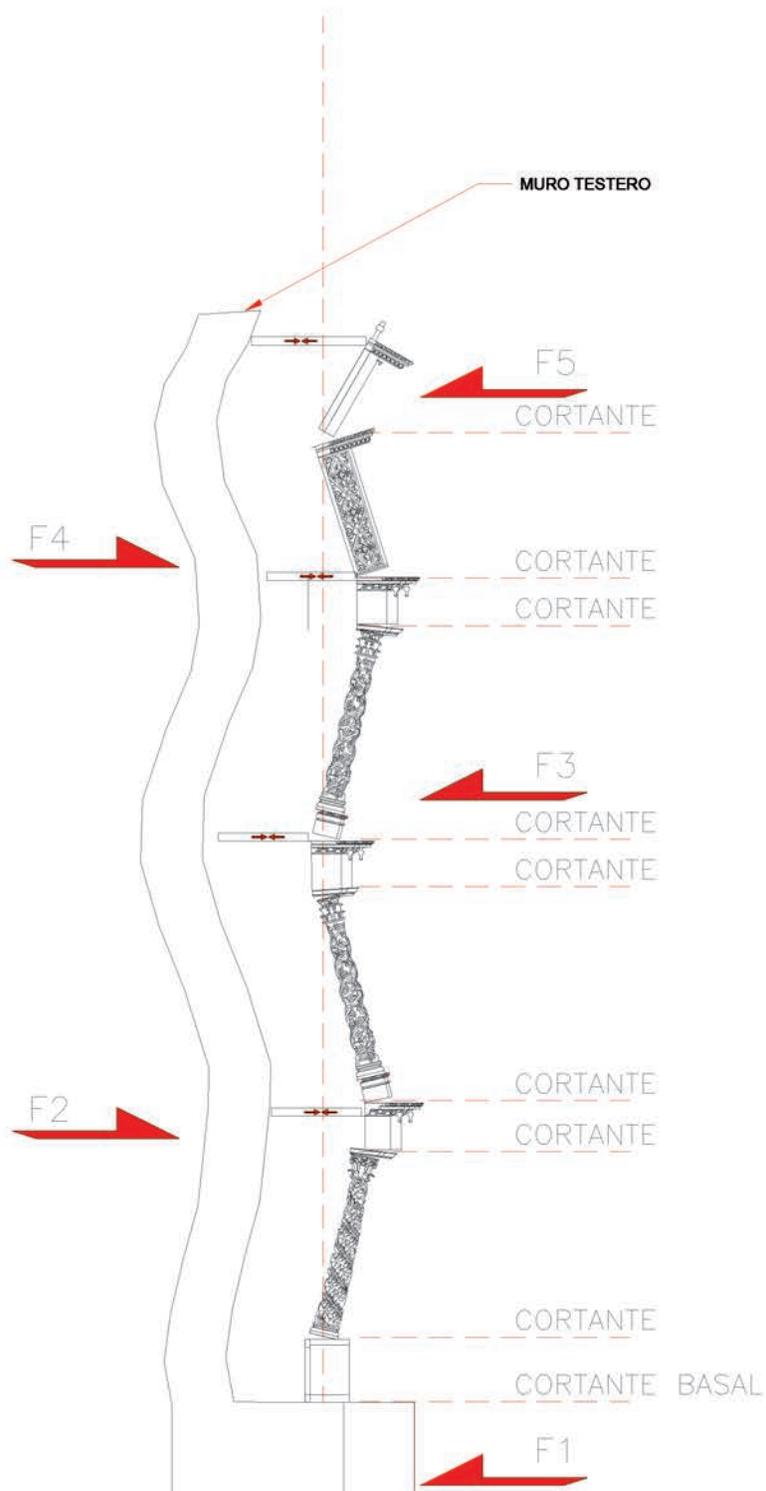


Figura 3B. Estado dinámico de primer modo. Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, 2018.



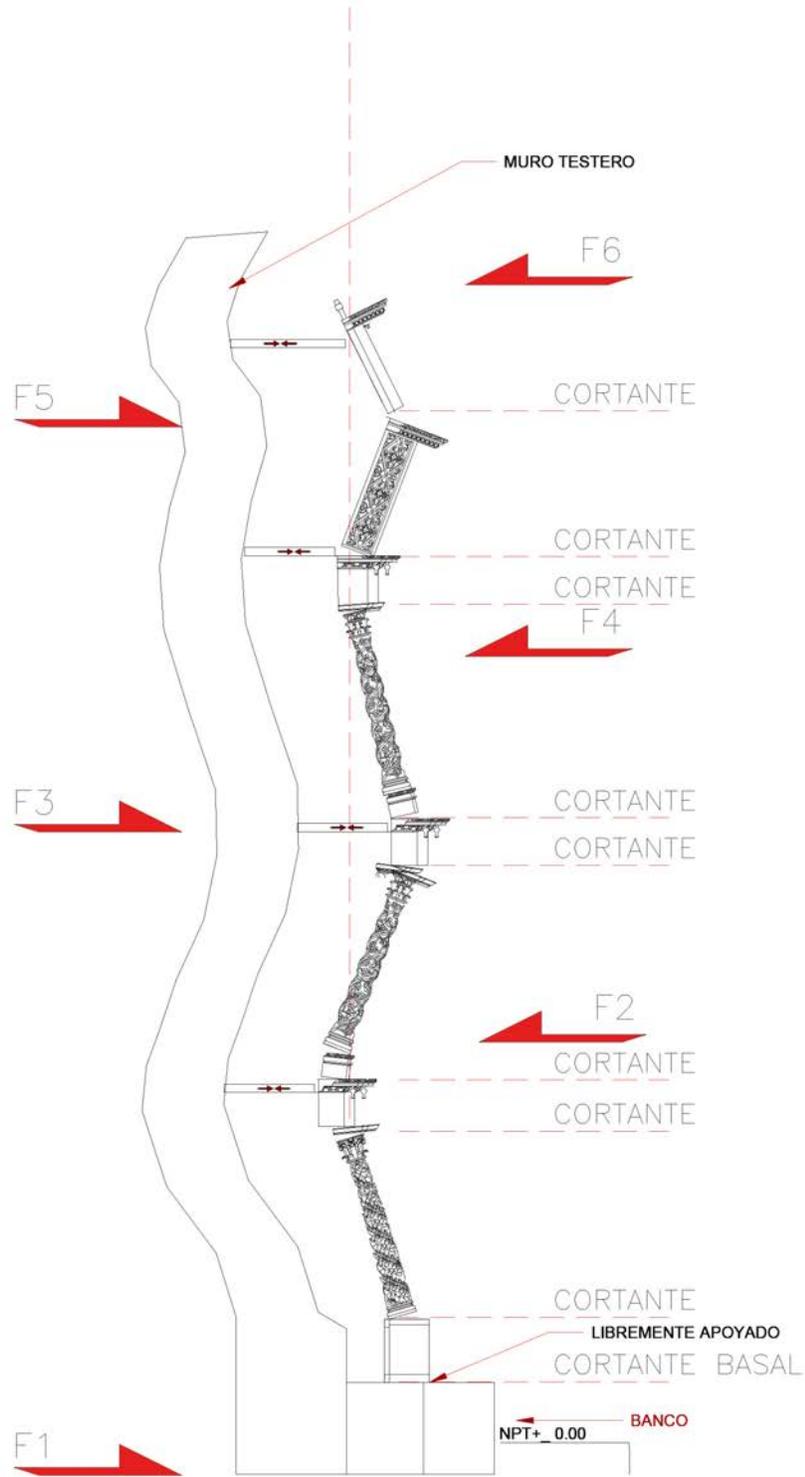


Figura 3C. Estado dinámico de primer modo. Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, 2018.



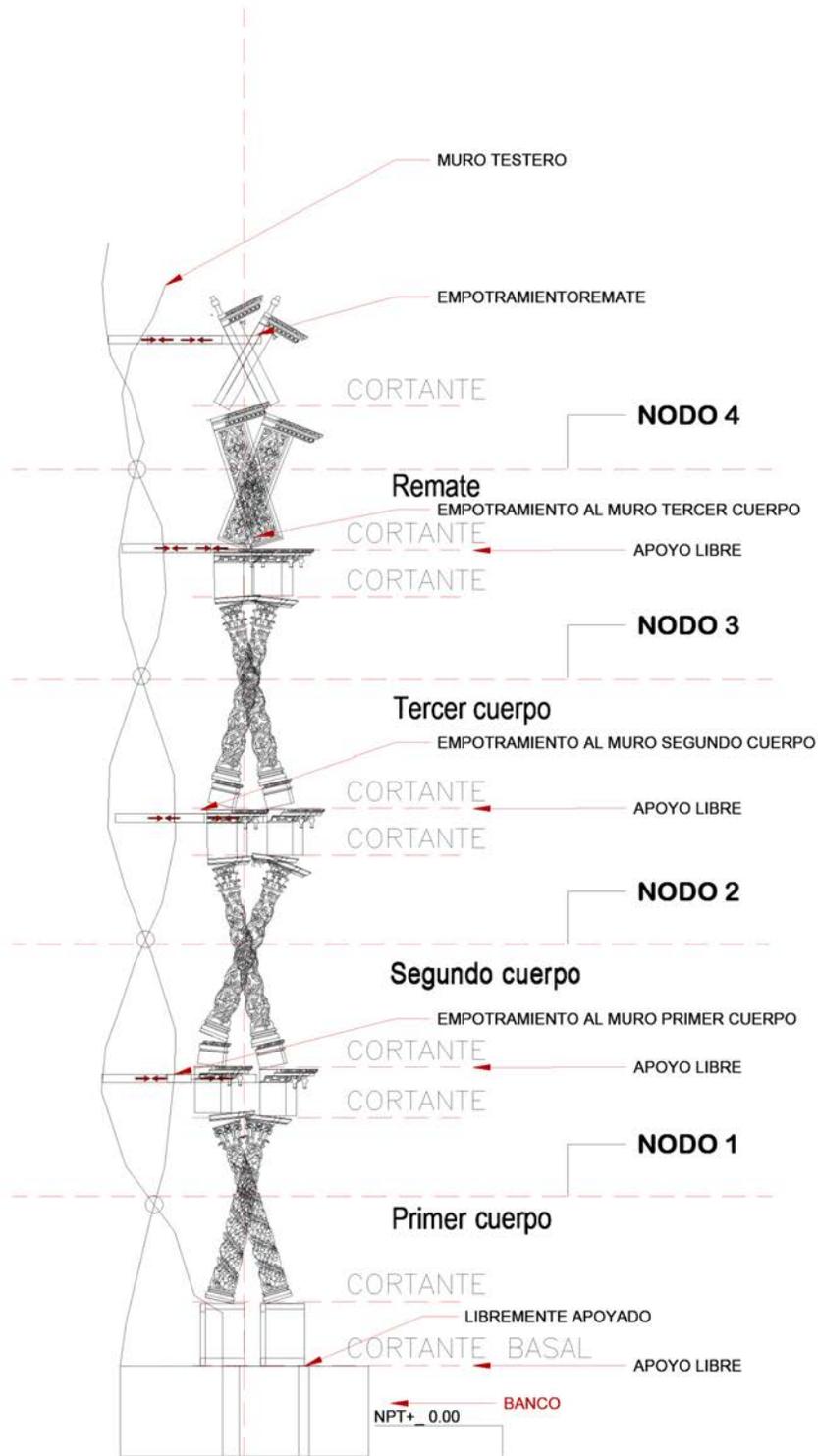


Figura 3D. Forma de ocilar del retablo en primer modo. Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, 2018.



El nivel de daños que puede presentar un retablo de dos o más cuerpos está relacionado con la magnitud de los desplazamientos laterales. A mayor desplazamiento lateral, mayores serán las deformaciones en los elementos estructurales y, por lo tanto, mayores serán sus esfuerzos. Bajo esta observación, el modo más crítico será el denominado fundamental o primer modo, porque éste puede hacer colapsar al retablo. Los modos consecutivos, generan el "efecto látigazo" que comprende el modo dos o tres que es producto de fuertes aceleraciones y desplazamientos, mismos que pueden tener como resultado grandes fuerzas y esfuerzos que podrían producir colapso por cortantes en las partes superiores.

Homologación de tres modos de oscilar según Domínguez (2014: 4) en un retablo de tres cuerpos

Modo primero o modo fundamental (Figuras 4A y 4B).

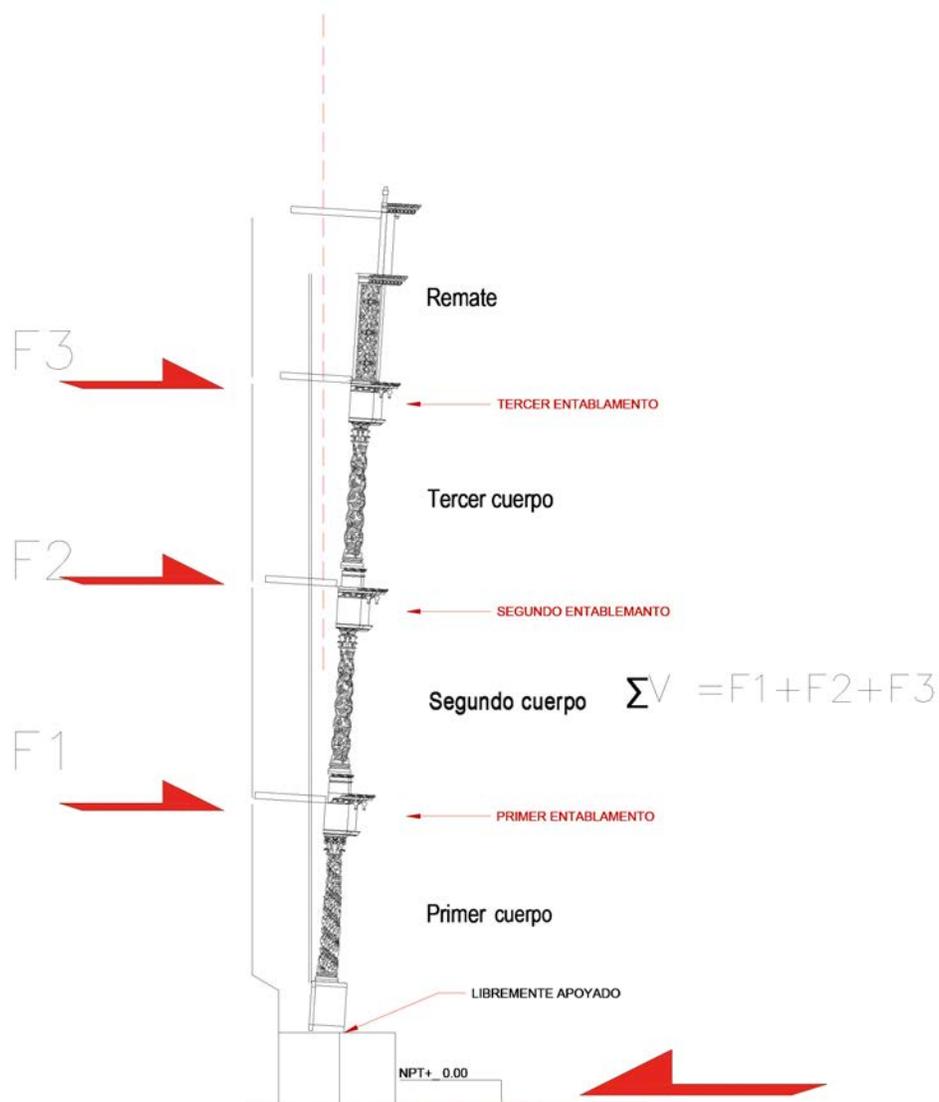


Figura 4A. Acción de fuerzas. Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, 2018.

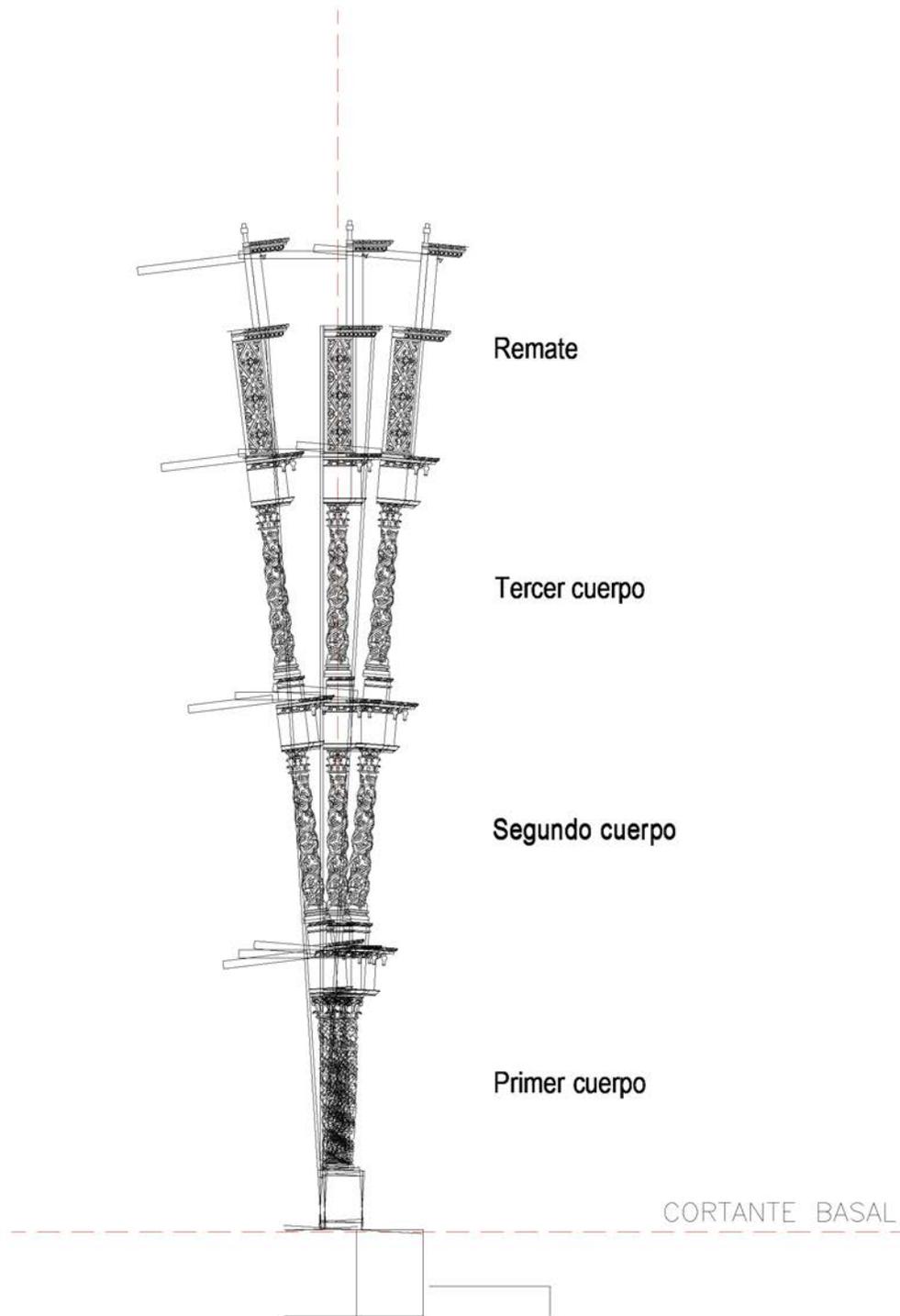


Figura 4B. Forma de oclar. *Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, 2018.*



Modo segundo (Figuras 5A y 5B).

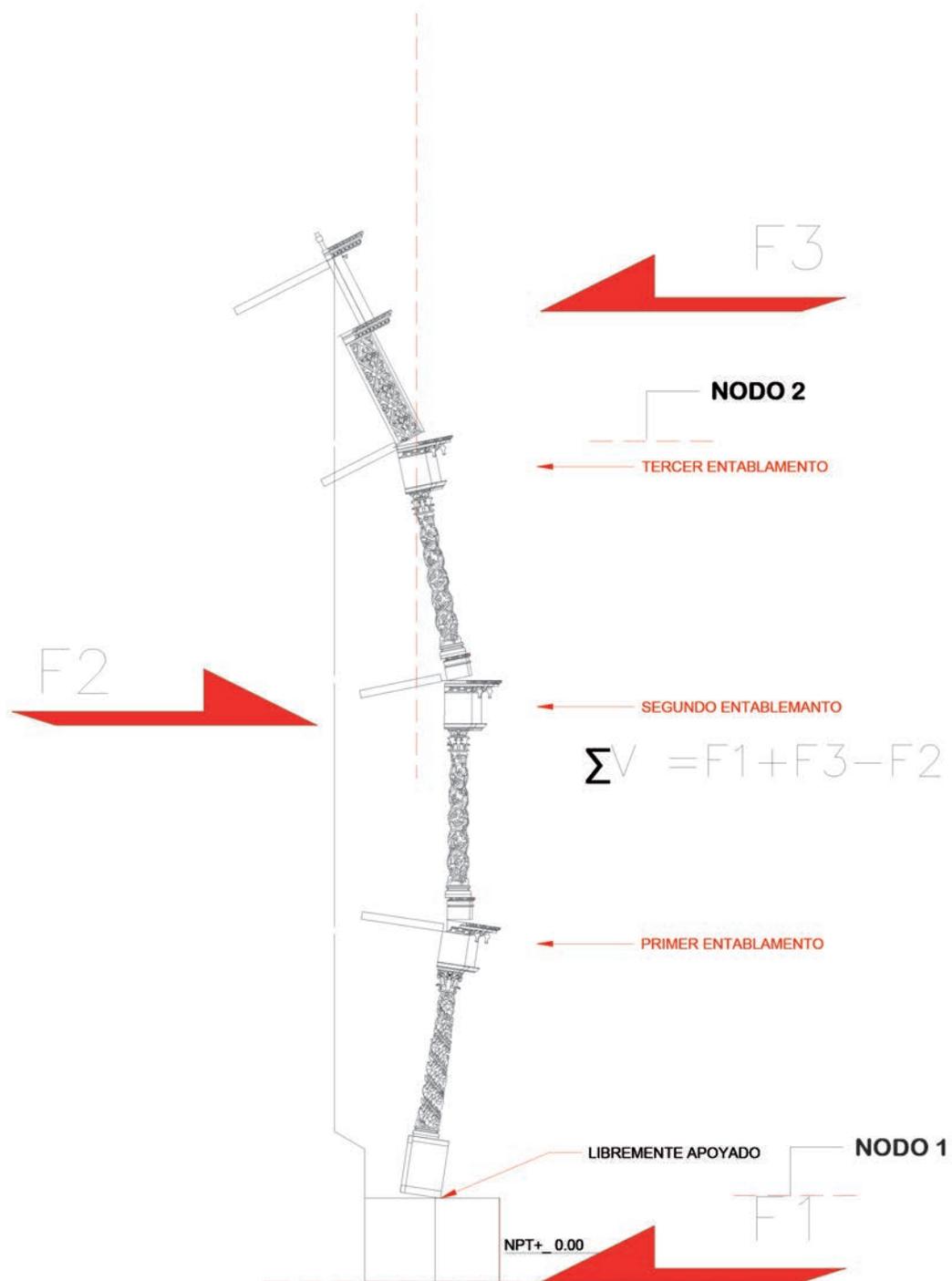


Figura 5A. Acción de fuerzas. Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, 2018.



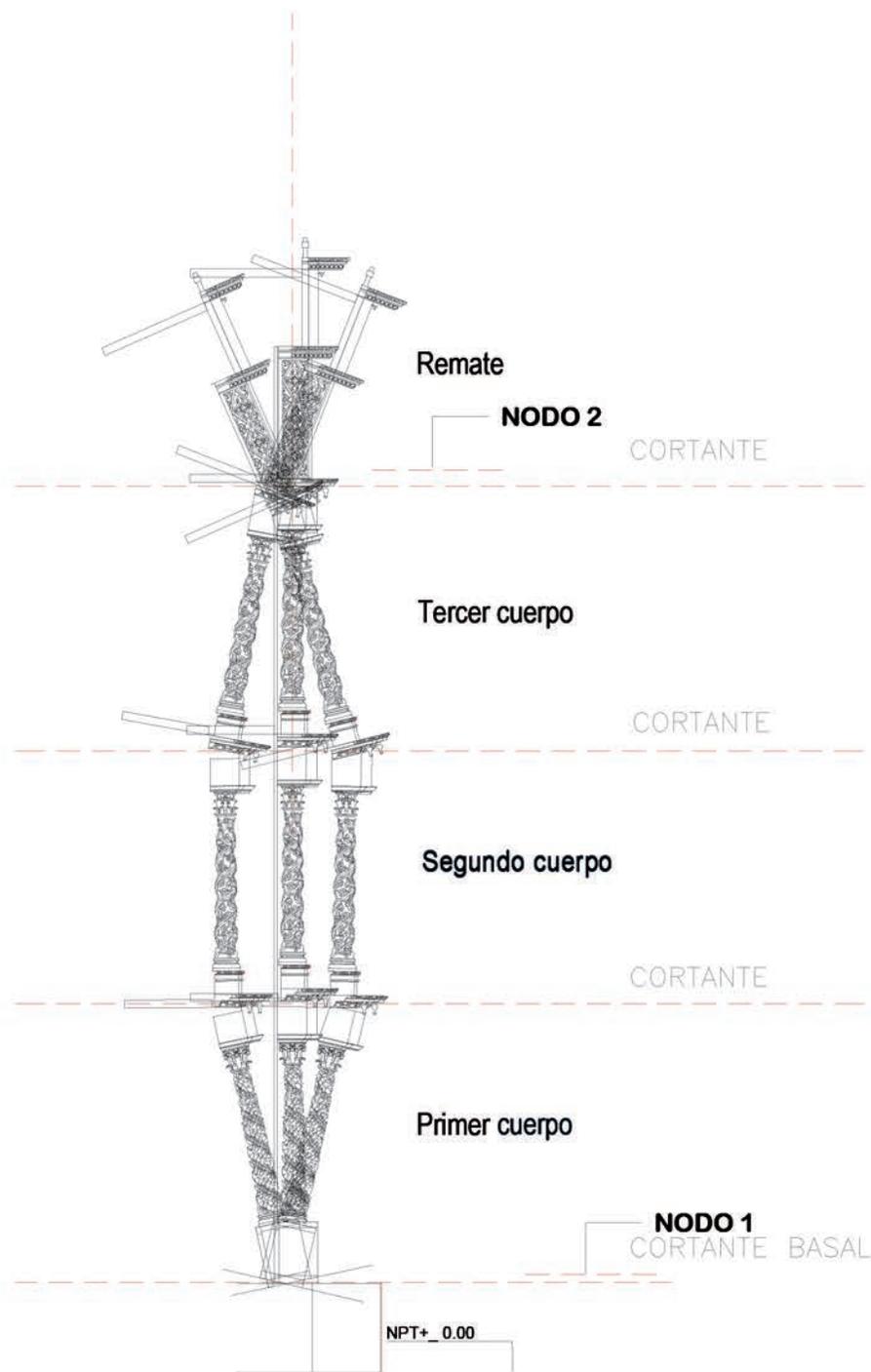


Figura 5B. Forma de oclar. Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, 2018.



Modo tercero (Figuras 6A y 6B).

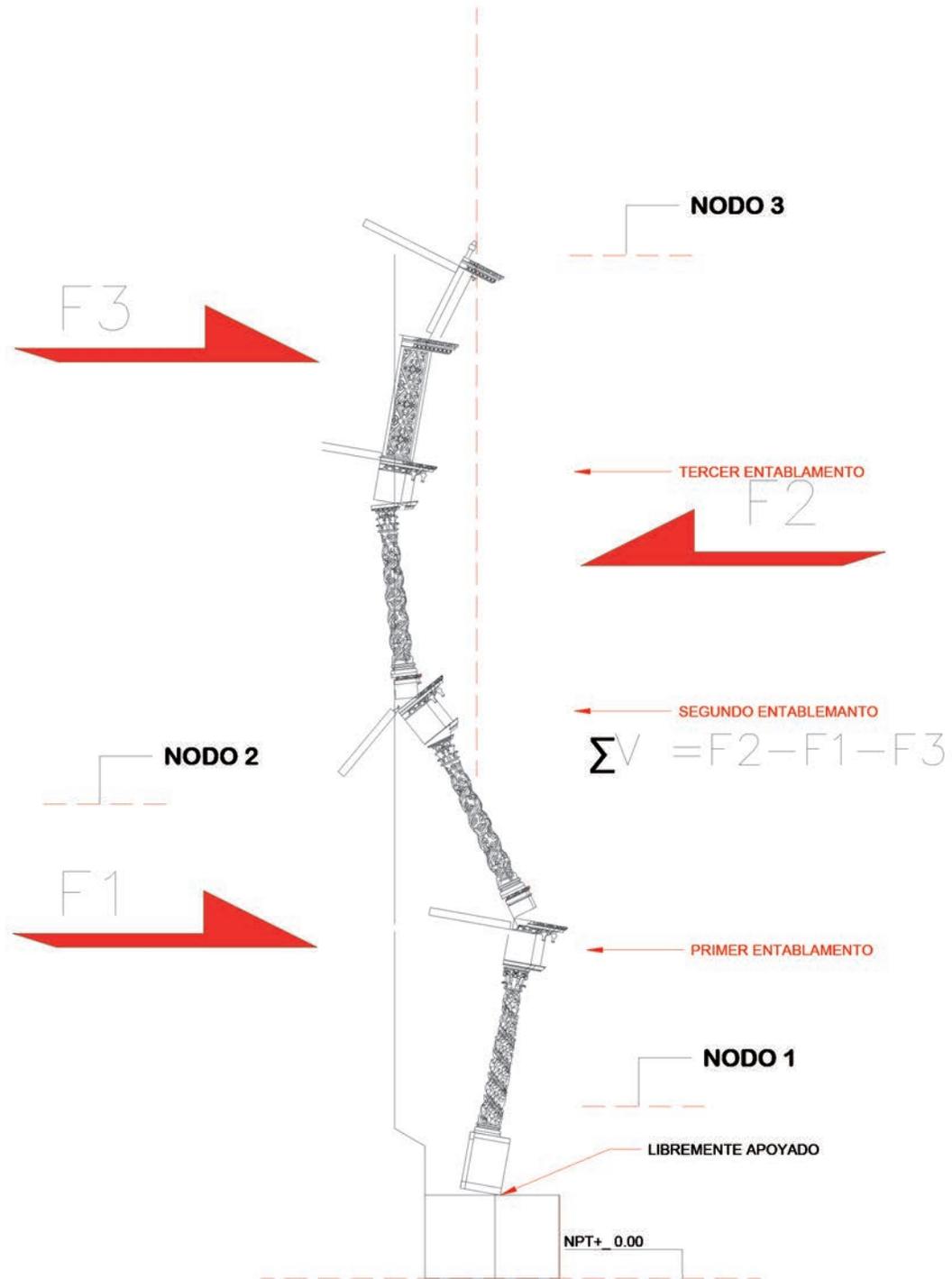


Figura 6A. Acción de fuerzas. Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, 2018.

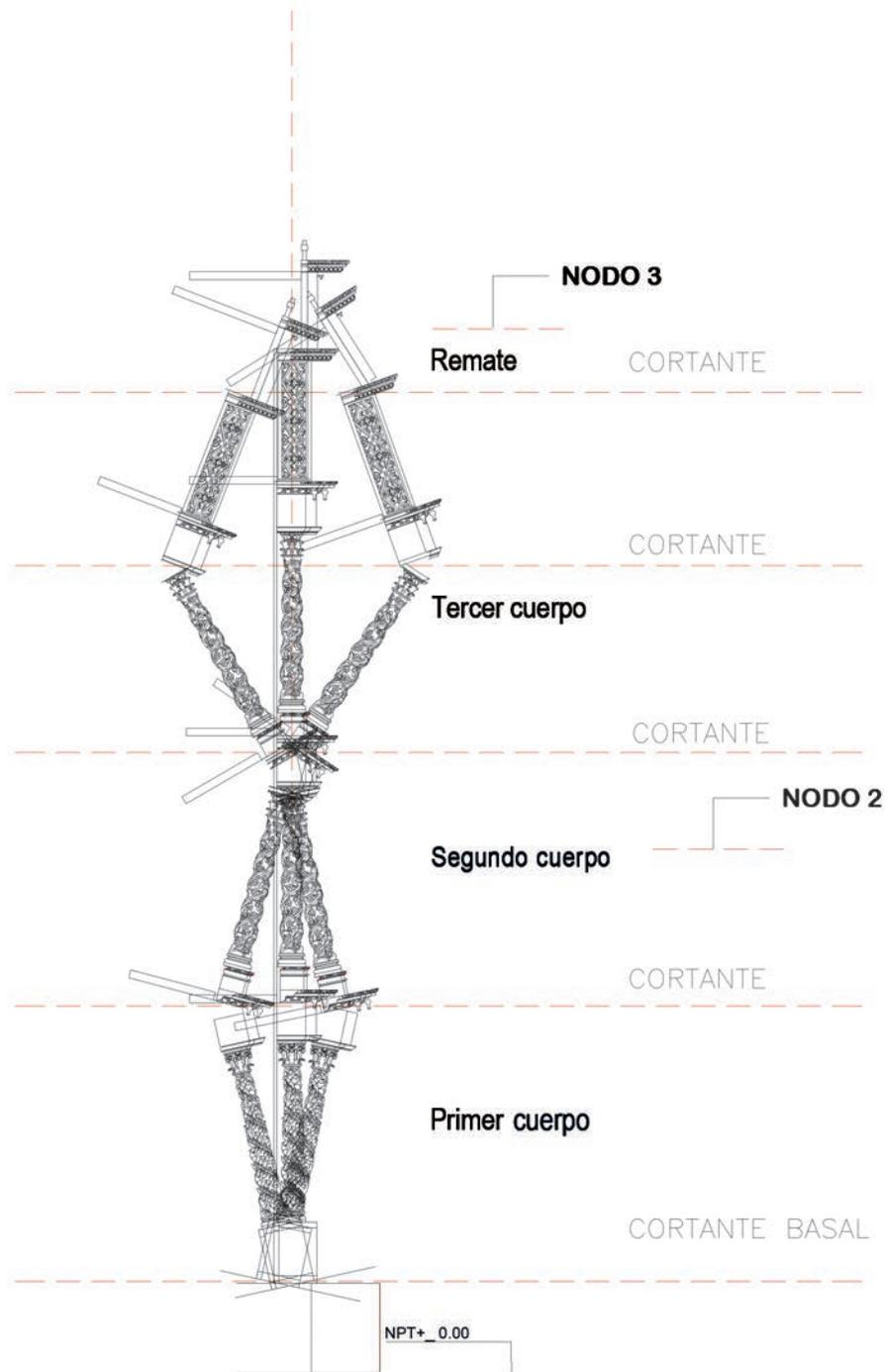


Figura 6B. Forma de ocilar. Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busters, 2018.



Daños estructurales en los retablos

Se pueden presentar varios tipos de daño, de acuerdo con la zona en donde se genere el daño:

Desajustes o fracturas en los puntos de interconexión entre el retablo y el muro, considerados como críticos porque éstos absorben las fuerzas cortantes. Cuando los puntos de interconexión están separados del retablo éste se puede proyectar al frente con altas probabilidades de colapsar (Figura 7).



Figura 7. Se aprecia desajuste de tensor a la altura del segundo cuerpo del retablo principal de San Francisco en San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, 2017.

Desajustes en las juntas del tensor ahogado en el muro por desprendimiento de material constitutivo. Las juntas generalmente están rellenas con morteros de cal y pedacería de piedras o ladrillo y ofrecen poca resistencia a los movimientos laterales, por lo que, si no se atiende, con el tiempo puede desprenderse el tensor.

Desajustes en el desplante entre cuerpo y cuerpo, cornisa del cuerpo de abajo y arranque de siguiente cuerpo. En este caso puede ocasionar colapso del cuerpo superior por desviación de las trayectorias de las cargas (Figura 8).

Desajustes en los cajones de los entablamentos, estos elementos reciben las cargas de los cuerpos superiores a través de las columnas y traspilares, a su vez transmiten estas cargas a los cuerpos inferiores o al banco de desplante, por lo que su desajuste puede ocasionar el colapso parcial de elementos superiores por debilitamiento estructural (Figura 9).

Desajuste o fracturas de bastidores de los entablamentos en especial en las secciones donde sujeta el tensor al bastidor, se puede considerar de alto riesgo de colapso es por debilitamiento estructural, ya que pierden cohesión estructural con el resto del retablo (Figura 10).

Desajustes en remates del retablo, puede ocasionar colapso del mismo por desplome.



Figura 8. Desajuste en el segundo cuerpo del retablo principal del templo de San Sebastián. Santo Domingo Tehuacán, Oaxaca.
Imagen: ©Christian Alberto Chávez, CNCPC-INAH, 2017.



Figura 9. Detalle de desajuste en el cajón de entablamento del retablo de San José. Catedral de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.
Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, CNCPC-INAH, 2017.



Figura 10. Así se aprecia una fractura del bastidor de entablamento. Retablo colateral de San Agustín Tepexco, Puebla.
Imagen: ©Sarahy Fernández García, CNCPC-INAH, 2017.



Por último, un factor que acelera los daños en algunos retablos en caso de sismos, es la alteración de su estructura mediante intervenciones. Esto puede debilitar o rigidizar algunas secciones que rompen con la resistencia homogénea original. Se puede presentar el siguiente comportamiento: en zonas reforzadas, se disminuirá el periodo de vibración y ésta caerá en un espectro de mayores aceleraciones, porque la estructura tendrá más cargas sísmicas que las estimadas originalmente.

En otras palabras, la energía que normalmente debiera disiparse en un punto de la estructura, al estar reforzada, se proyectará y sumará a la que se genera en otros puntos. En el sitio de la estructura en donde converja esta acumulación de energía no disipada, debido al reforzamiento, se provocarán mayores daños estructurales por el aumento de esfuerzos (Figura 11).



Figura 11. Recorte de un tensor original. Retablo principal de San Francisco en San Cristóbal de Las Casas Chiapas. Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, CNCPC-INAH, 2017.

Daños no estructurales en los retablos

Estos daños pueden detectarse con mayor facilidad puesto que son evidentemente visibles al situarse en la cara frontal del retablo. El nivel de deterioro que representan, con relación a la estructura, no es de carácter relevante, debido a que éstos sólo repercuten en el estrato superficial y no son un riesgo para la pérdida de la obra.

Algunos daños no estructurales pueden ser los siguientes: craqueladas de estratos pictóricos en las uniones estructurales entre entablamentos y cajones, fracturas de marcos, desajustes de molduras y tallas que se superponen, desajustes de fanales y ménsulas de carácter ornamental (Figuras 12 y 13).



Figuras 12 y 13. Grietas en dorados del retablo de San Francisco. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Imagen: ©Arturo Sebastián Casasola Busteros, CNCPC-INAH, 2017.

¿Qué revisar en un retablo después de un sismo?

Es importante tomar en cuenta antes de la inspección de un retablo en su frente y anverso que, tanto las condiciones de seguridad del edificio que lo resguarda, como el aparente estado del retablo, permitan dicha evaluación. Esto es que no exista un riesgo inminente de colapso que amenace la integridad física del equipo de trabajo que la realice.

Una vez que se tenga la certeza de poder acceder a examinar el retablo, se deberá poner especial atención en los puntos que se enlistan pues de la correcta inspección desprenderá la acción en materia de protección, resguardo o intervención emergente que aplique en este tipo de bienes culturales.

1. Detectar deformaciones o grietas estructurales en el muro testero.
2. Alteraciones o fracturas a la estructura original del retablo, que lo puedan debilitar estructuralmente. Revisar que los largueros y peinazos de los bastidores no estén fracturados o desajustados. Observar que contenga los elementos de soporte originales como los bastidores, cajones, columnas y trascolumnas o alguna intervención posterior que pudiera modificar las características de resistencia original.



3. Evaluar el sistema de fijación del retablo al muro. Detectar los tensores y determinar si hubiera faltantes o instalación de otros tensores anclados al retablo en puntos incorrectos. Cambio total o parcial del sistema de sujeción que pudiera incidir en la estabilidad del mismo.
4. Observar ambos extremos de los tensores para corroborar que no estén flojos o fracturados, adicionalmente, en el caso de tensores de acero, que no haya fluencia.
5. Observar el desplante del retablo y de los cuerpos consecutivos, cerciorándonos de que no hayan sufrido desplazamientos horizontales.
6. Que el plomo del retablo conserve su verticalidad. Un desplome en un ángulo mayor a 5° . puede implicar un problema de estabilidad.
7. Detectar torsiones en los bastidores del retablo que impliquen riesgos de fracturas de los mismos.
8. Poner especial atención a los remates, alerones, ménsulas, fanales y todos los elementos que rebasen el eje axial, pues estos elementos al desajustarse pueden sumar esfuerzos a ciertos puntos de la estructura, y corra riesgo de fractura.
9. Observar grietas en estratos pictóricos o policromados en las uniones de ensambles del retablo, con el objeto de cuantificar daños a los estratos pictóricos y dorados.

Aún hay mucho camino que andar en materia del comportamiento de los retablos ante los sismos. Sin embargo, puedo concluir, que sin importar como oscile el muro testero, las cortantes en un retablo interconectado al muro se ubicarán en los desplantes de cada cuerpo, por lo que es fundamental que los tensores estén ubicados y anclados correctamente, puesto que éste es un elemento clave en el comportamiento del retablo. Espero contribuir con este primer ensayo, con información que arroje datos de utilidad práctica para el quehacer interdisciplinario de la restauración.

*





Referencias

Acuña Vigil, Percy (2015) *Disipadores de energía en la estructura de edificios* [blog] 29 de septiembre de 2015, disponible en: <<https://pavsargonauta.wordpress.com/2015/09/29/disipadores-de-energia-en-la-estructura-de-edificios/>> [consultado el 12 de julio de 2016].

Domínguez Caicedo, Mauricio (2014) "Periodo de vibración de los edificaciones", *Revista de Arquitectura e Ingeniería* [en línea], 8 (2): 1-13, disponible en: <<http://redalyc.org/articulo.oa?id=193932724001>> [consultado el 6 de febrero 2018].

Maraboto, Luis Esteva (2017) "La ingeniería sísmica requiere análisis de confiabilidad y sistemas innovadores", *Gaceta digital UNAM* [en línea], 16 de noviembre de 2017, disponible en: <<http://www.gaceta.unam.mx/20171116/la-ingenieria-sismica-requiere-analisis-de-confiabilidad-y-sistemas-innovadores/>> [consultado el 18 de diciembre de 2017].

Medina Guzmán Hugo (2009) *Física 2*, Pontificia Universidad Católica del Perú <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/7140/Medina_Fisica2_Cap2.pdf?sequence=3> [consultado el 9 de diciembre de 2017].

Oviedo, Juan Andrés y Duque, María del Pilar (2006) "Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones" *Revista EIA* [en línea] (6), disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372006000200010> [consultado el 18 de noviembre de 2016].

Robles, Francisco, Dávalos Sotelo, Raymundo, y Ricalde Camacho, Mario (1991) *Comentarios y ejemplos de las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de madera*, México, Departamento del Distrito Federal, No. ES-5 octubre, UNAM. Instituto de Ingeniería, UNAM.

Santoyo Villa, Enrique (2010) *Cimientos en templos y conventos de los siglos XVII a XVIII*, tesis de doctorado en arquitectura, México, Universidad Nacional Autónoma de México.

Welti, Reinaldo, (2009) *Vibración de las estructuras complejas*. Facultad de ciencias exactas ingeniería y agrimensura, disponible en: <<https://tecnoedu.com/Download/010VibracionesEstructurasComplejas.doc>> [consultado el 10 de febrero de 2018].

