

estructuras

Resiliencia arquitectónica en zona sísmica

ISSN 2591-6513

Año 6 Nº11 | 12 | Diciembre 2023
EDICIÓN ESPECIAL: NÚMERO DORLE

T.I.D.E.

TALLER DE INVESTIGACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba



FAUD

Facultad de Arquitectura,
Urbanismo y Diseño

SEC INV

Resiliencia arquitectónica

en zona sísmica

estructuras

Año 6 - N° 11 y 12 "Resiliencia arquitectónica" - Diciembre 2023

ISSN N° 2591-6513

ISSN Digital N° 2718- 8272

Coordinación General

Silvina Prados

Diseño Gráfico y Edición

Yohana Cicaré

Comité de referato

Docentes TIDE-FAUD: **María del Carmen Fernández Saiz** (Directora del T.I.D.E./ Prof. Titular Estructuras 4), **Guadalupe Álvarez** (Co-directora del T.I.D.E./ Prof. Adjunta Introducción a la tecnología B), **Silvina Prados** (Prof. Titular Estructuras 2B), **Raquel Fabre** (Prof. Titular Estructuras 1A), **Daniela Gilabert** (Prof. Adjunta Estructuras 1A), **Gabriela Culasso** (Prof. Titular Estructuras 1B), **Carolina Ponssa** (Prof. Adjunta Estructuras 2B), **Gabriela Asis** (Prof. Titular Estructuras 2A), **Eduardo Rodríguez Cimino** (Prof. Titular Estructuras 3A), **Gustavo González** (Prof. Titular Estructuras 3B).

Evaluadores Externos: **Daniel Quiroga** (Prof. Titular Facultad de Ingeniería-UNCuyo), **Horacio Saleme** (Prof. Titular FAU- UNT) **Sara Gonorazky** (Prof. Consulta FAUD-UNC) **Daniel Moisset de Espanés** (Prof. Emérito FAUD-UNC), **Isolda Simonetti** (Prof. Consulta-FAUD-UNC)

Dirección de edición:

Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño.

Av. Vélez Sársfield 264. 5000. Córdoba. Te. +54 0351 4332091. Correo electrónico:

revistaestructuras@faud.unc.edu.ar

En este número:

Editorial

Yohana Cicaré y Silvina Prados

Autores

Eduardo Rodríguez Cimino

Daniel Quiroga

Leonel Ghiglione

Ilustraciones

Daniel Villani

Fotografías

Provistas por los proyectistas

y autores

Las opiniones vertidas en los artículos son responsabilidad de los autores; por tanto, los puntos de vista expresados no necesariamente representan la opinión del Comité de referato de esta revista.

© Todos los derechos reservados. Todos los materiales publicados en **Estructuras** se encuentran protegidos por copyright y otras leyes de la propiedad intelectual y de los pactos internacionales.

No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares de **Estructuras**.

EDITORIAL

En los últimos 25 años, la tierra ha temblado repetidamente, dejando tras de sí un rastro insondable de pérdidas humanas y materiales. El último episodio, un sismo de magnitud 7.8 que sacudió Turquía y Siria el 6 de febrero de 2023, se cobró la impactante cifra de más de 21.600 vidas, añadiendo una dolorosa página a la crónica de desastres sísmicos.

Desde el terremoto en Afganistán en junio de 2022 hasta el devastador evento en Haití en agosto de 2021, y retrocediendo en el tiempo, el trágico tsunami de 2004 en Indonesia, la historia sísmica es una narrativa continua de pérdidas humanas inimaginables y comunidades fracturadas.

Esta dolorosa sucesión de eventos exige una revisión profunda de la arquitectura en zona sísmica. No es solo la cantidad de vidas perdidas, sino también las secuelas materiales en pueblos y ciudades difíciles de remontar, lo que nos insta a repensar nuestras estrategias de diseño. La resiliencia arquitectónica es más que una necesidad, es un imperativo moral para proteger nuestras comunidades y mitigar el impacto de futuros desastres.

Es por esto que, en esta edición, se exponen recursos para reducir la vulnerabilidad sísmica

de las construcciones, desde la arquitectura con recomendaciones de diseño y desde la ingeniería mediante el uso de sistemas de protección sísmica cada vez más accesibles en el mercado.

Como en ediciones anteriores, se realiza el análisis de dos obras arquitectónicas de escalas y complejidades muy diferentes, como el Edificio Manantiales y las Viviendas Ruca en Chile, zona de alta peligrosidad sísmica, detallando las estrategias utilizadas por los diseñadores en ambas construcciones.

En este contexto, extendemos una invitación a nuestros lectores para adoptar una postura comprometida con la temática. Reconocemos que la resiliencia arquitectónica no se limita a ser una respuesta a la tragedia; es un compromiso continuo con la seguridad y la prosperidad de nuestras ciudades y comunidades frente al ineludible temblor de la tierra.

Arq. Yohana Cicaré

Prof. Asistente Estructuras 1A, 2A y 3B

Ing. Silvina Prados

Prof. Titular Estructuras 2B

INDICE

8

Arquitectura
en zona sísmica

26

Sistemas de
protección sísmica

- Edificio Alvear 1
- Edificio IHEM

82

Viviendas Ruca

96

Concurso de
modelos estructurales
de fideos de semola
"Hugo Bonaiutti"
Segunda Edición.

14

Recomendaciones
de diseño

68

Edificio
Manantiales

CONTRATAPA

Arquitecta ISOLDA SIMONETTI egresada de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba.
Fue Profesora Titular de Estructuras IA y Profesora Adjunta de Estructuras III de la FAUD-UNC, donde formó parte de proyectos de investigación por más de veinte años. Fue Profesora de Postgrado en la Especialidad en Tecnología Arquitectónica y en la Especialización en Diseño Estructural de Obras de Arquitectura (EDIEST) que se dicta en la Universidad Nacional de Córdoba.
Participó, organizó y coordinó eventos sobre enseñanza de las estructuras en Arquitectura, en los que participaron docentes de facultades de arquitectura de distintas universidades del país.
Realizó numerosas publicaciones y presentaciones en congresos sobre temas relacionados con la disciplina y el diseño estructural.
Desarrolló su actividad profesional en forma privada, asociada, realizando numerosos proyectos arquitectónicos, diseños y cálculos estructurales de edificios en altura y viviendas individuales.

ARQUITECTURA EN ZONA SÍSMICA

Eduardo Rodríguez Cimino

A diferencia de otros desastres naturales, el terremoto tiene la particularidad de ser repentino e impredecible. No disponemos aún de una herramienta que nos permita anticiparnos y nos brinde tiempo para evacuar la población o resguardar nuestros bienes. Para protegernos debemos entonces recurrir a un correcto planeamiento urbano de nuestras ciudades y a un adecuado diseño arquitectónico y estructural de sus edificios, de manera que el riesgo de pérdidas humanas y materiales sea el mínimo.

En las últimas décadas, se produjeron importantes avances en la ingeniería sismorresistente y en las posibilidades del análisis estructural, mediante procedimientos informáticos cada vez más sofisticados. Sin embargo, la evaluación de daños de los últimos grandes terremotos ocurridos ha demostrado que el solo análisis estructural no es suficiente para lograr los objetivos de una construcción en zona sísmica. Ciertas características de diseño y construcción alteran significativamente el comportamiento dinámico de las edificaciones, alejando a la realidad materializada de los modelos teóricos con los cuales se dimensiona a las estructuras.

Es por ello que la arquitectura adecuada para zonas sísmicas debe gestarse en la etapa inicial del proceso proyectual y no limitarse a un posterior análisis y diseño estructural. La responsabilidad del buen desempeño de una construcción en zona sísmica es entonces compartida entre arquitectos e ingenieros. Dice el Arq. Horacio Saleme: "La seguridad contra el sismo no se resuelve transfiriendo al ingeniero el cálculo de la estructura. Fundamentalmente es un problema de diseño, pues no hay buen reglamento ni buen cálculo que pueda salvar a un edificio mal concebido".

La peligrosidad sísmica de un territorio, debe ser considerada un condicionante más para cualquier diseño arquitectónico, tal como lo son el clima, asoleamiento, iluminación, ventilación, etc. Para lograr un adecuado nivel de seguridad es necesario que, tanto el ingeniero como el arquitecto que integran el equipo de proyecto, apliquen los principios del diseño sismorresistente en todas las etapas de la obra.

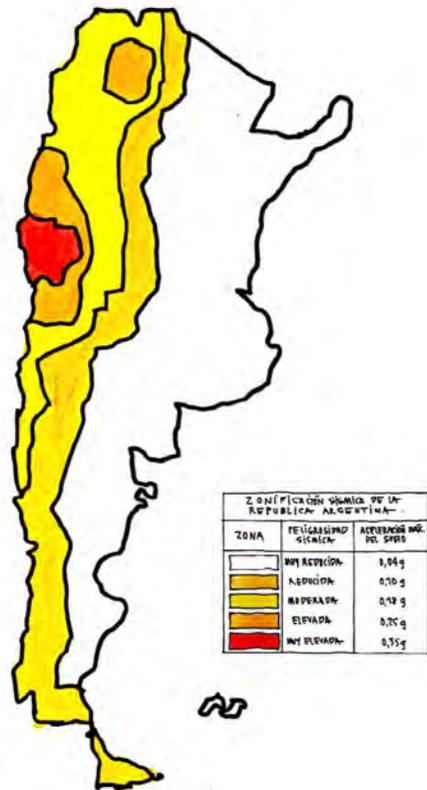
El uso de configuraciones geométricas regulares en planta y altura evitan concentraciones de tensiones, la esbeltez reducida ayuda a equilibrar los momentos de vuelco, la distribución homogénea de masas y rigideces eliminan los efectos de torsión y la concentración de esfuerzos en pisos blandos, el uso de planos horizontales rígidos como diafragmas permiten una adecuada distribución de las solicitaciones y una colaboración pareja de la totalidad de los elementos verticales, la continuidad de columnas y muros en todos los niveles sin interrupciones facilita la transferencia de los esfuerzos hacia las fundaciones, etc.

La pagoda japonesa constituye un claro ejemplo de diseño adecuado para zonas de alta peligrosidad sísmica. Su estructura está compuesta por un pilar central, el "shinbashira", que simboliza el eje del mundo y actúa como un mástil empotrado en el suelo que enhebra los diferentes niveles como un pasador. Esto confiere a la estructura de gran flexibilidad, con periodos de vibración entre 1 a 1.5 segundos, más largos que el periodo dominante del movimiento del suelo en terremotos japoneses, y de un importante amortiguamiento producido por la fricción entre la madera al deslizarse lateralmente.

Además, el uso de la madera, al ser un material liviano, disminuye la masa total del templo y con ello los efectos del sismo. La reducción del tamaño de los niveles en altura, ubicando al centro de masa global en una posición más baja, la simetría de planta y la posición central del mástil, además, elimina los movimientos de torsión.



Pagoda japonesa



Mapa de zonificación de la peligrosidad sísmica en Argentina

Riesgo sísmico

Existen dos factores que determinan el nivel de riesgo sísmico de un área urbana: la posibilidad de ocurrencia de un sismo (peligro sísmico) y la vulnerabilidad de sus construcciones.

El peligro sísmico, o amenaza, es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno sísmico dentro de un periodo de tiempo y un área determinados.

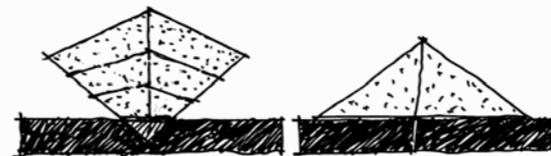
Para determinar la peligrosidad sísmica de un territorio se evalúan los sismos registrados, su frecuencia, magnitud y efectos provocados. Estudios más detallados para zonas más pequeñas pueden considerar también aspectos particulares, tales como la presencia de fallas y composición del suelo, topografía, nivel freático, etc.

Finalmente se construyen mapas de peligrosidad que dividen a una región geográfica en áreas cuya respuesta al movimiento del terreno se considera relativamente parecida. En Argentina, el peligro sísmico está determinado por el mapa de zonificación sísmica elaborado por el Instituto de Prevención Sísmica (INPRES).

En la provincia de Córdoba, la actividad sísmica se concentra en tres sectores: las proximidades de Villa de Soto y Cruz del Eje, donde hay registros de eventos que han superado la magnitud de 6 grados de la escala de Richter, la zona occidental de Sierras Chicas, donde se han registrado eventos superficiales que superan la magnitud 4 grados y en el sur, sobre la falla de Sampacho, se registraron sismos de 5.5 y 6 grados de magnitud que en el año 1934 destruyeron el 90% de la ciudad.

Por otro lado, la vulnerabilidad sísmica de una construcción, se define como su predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico de una severidad determinada. Está directamente relacionada con el diseño de las construcciones,

su tamaño, geometría y con la ubicación y dimensiones de sus elementos estructurales.



Una misma forma geométrica conforma un diseño de alta o de baja vulnerabilidad sísmica.

Es importante también considerar la vulnerabilidad de los elementos no estructurales, sobre todo en tipologías como hospitales, donde la permanencia en servicio resulta fundamental en caso de desastre y su funcionalidad requiere que todos los elementos no estructurales y sus equipamientos permanezcan en servicio después de un sismo.

Debido a que la peligrosidad sísmica es una característica de la naturaleza que todavía el hombre no es capaz de modificar, la única alternativa disponible para reducir el riesgo sísmico en zonas urbanas existentes consiste en la búsqueda de estrategias para aminorar la vulnerabilidad.

¿Cómo podemos reducir la vulnerabilidad?

A escala urbana:

• Patrones de uso del suelo:

Destinar zonas de mayor peligrosidad a la actividad agrícola y espacios verdes y ubicar los programas de desarrollo más sensibles en zonas más seguras.

Separar las zonas industriales de las residenciales y subdividir los distritos residenciales con espacios libres verdes que limiten

los posibles incendios posteriores al terremoto y brinden áreas de evacuación de emergencia.

Descentralizar servicios administrativos y económicos.

• Infraestructura

Diseño de vías de comunicación que garanticen funcionamiento en situaciones de emergencia evitando el diseño de calzadas estrechas que puedan quedar fácilmente bloqueadas y el acceso a cualquier lugar de la ciudad para operaciones de rescate y evacuación previendo caminos alternativos.

Contar con más de una única fuente de abastecimiento de agua.

Dotar a las redes de distribución de agua y gas de flexibilidad mediante el empleo de materiales y juntas necesarias para soportar movimientos.

La red de distribución de energía eléctrica de alta tensión debe seguir un trazado seguro libre, sin construcciones próximas.

• Equipamientos

Contar con centros sanitarios y cuerpos de socorro preparados para actuar en forma óptima, distribuidos de manera estratégica para asistir a la totalidad de la población.

Dotar, con una identificación adecuada, de sitios seguros, y lugares de encuentro

A escala arquitectónica

• Proveer de planes de evacuación, sitios seguros y salidas de emergencia en los edificios públicos y privados.

• Realizar estudios geológicos del suelo sobre el que se va a construir.

• Cumpliendo la reglamentación de construcción sismorresistentes establecida por el INPRES.

- Realizando proyectos arquitectónicos que tengan en cuenta la peligrosidad sísmica como condicionante de diseño, reduciendo la vulnerabilidad con un adecuado diseño geométrico de todos sus componentes, tanto estructurales como no estructurales.

La vulnerabilidad sísmica en el proyecto arquitectónico. Trabajos de investigación

La vulnerabilidad de las construcciones juega un papel preponderante en la reducción del riesgo sísmico, y su control constituye una tarea de importancia social. Si bien debe desarrollarse en un contexto interdisciplinario, el rol del diseñador es fundamental, dado que tiene a su cargo la resolución de la geometría general del proyecto.

En ese contexto, en el Taller de Investigación de Diseño Estructural (TIDE) de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, el equipo docente de la cátedra de Estructuras III viene realizando desde el año 2016 diversos trabajos de investigación referidos a la vulnerabilidad sísmica de edificios, con el financiamiento de la Secretaría de Ciencia y Tecnología.

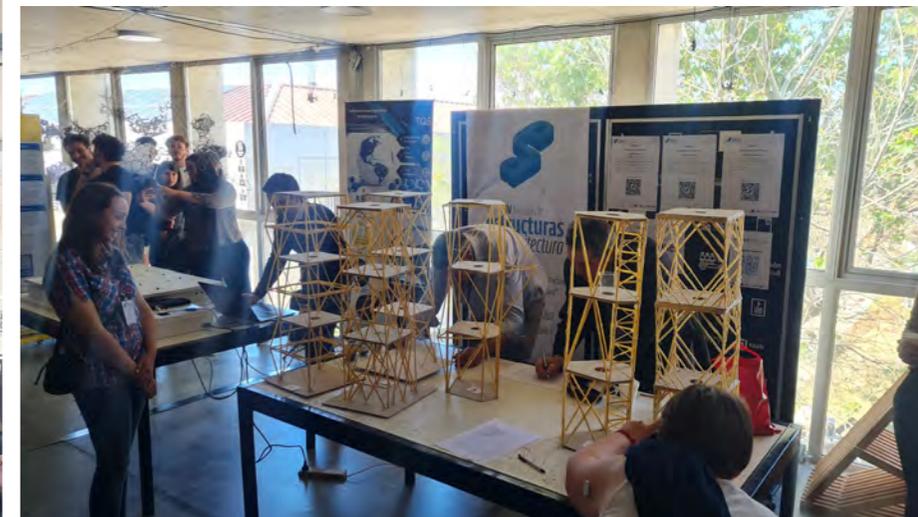
Durante 2016 y 2017 se desarrolló un método cualitativo para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios existentes, mediante el relevamiento de 25 parámetros del diseño geométrico, estructural, aspectos constructivos y del entorno del edificio.

Con esta técnica se relevaron un total de 16 establecimientos educativos ubicados en las zonas de mayor actividad sísmica de la provincia de Córdoba, obteniéndose un informe de las debilidades y fortalezas en los diseños de esta tipología en nuestro medio, así como también los posibles caminos para su readecuación.

Desde 2018 a 2023 se trabajó en un nuevo proyecto, estudiando

las tipologías estructurales más frecuentes utilizadas para edificios en altura en la ciudad de Córdoba. En esta oportunidad se realizó también un análisis cuantitativo, realizando descripción, evaluación y diagnóstico del comportamiento estructural mediante la simulación con modelos matemáticos de diversos edificios en altura de hormigón armado.

En el marco de estas investigaciones, se realizó el diseño y construcción de una mesa vibratoria y modelos didácticos para ensayos que permitan transferir a la enseñanza de grado los resultados obtenidos. Con ella, en octubre de 2022, se llevó a cabo el primer concurso de modelos estructurales de fideos de sémola, durante las IV Jornadas de Estructuras en Arquitectura, organizadas en conjunto por la cátedra de Estructuras III y el Taller de Investigación de Diseño Estructural (TIDE) de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba.



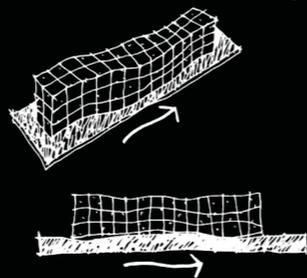
RECOMENDACIONES DE DISEÑO PARA ARQUITECTURA EN ZONA SISMICA

Eduardo Rodríguez Cimino

1. LA CONFIGURACIÓN EN PLANTA

• Longitud

Cuando la longitud de la planta se vuelve excesivamente grande, el edificio puede tener dificultad para responder como una unidad a los movimientos sísmicos, dificultando su análisis con los métodos e hipótesis habituales. Para determinar la respuesta de una estructura sometida a un sismo, usualmente se supone que ésta vibra de manera uniforme, y que todos los puntos ubicados en un mismo nivel se desplazan en simultaneo, con el mismo movimiento. Como la propagación de las ondas no es instantánea, sino que demora cierto tiempo en desplazarse de un punto a otro, un edificio de extremada longitud comenzará a estar afectado por el sismo primero en un extremo y luego en el resto, a medida que se propagan las ondas, produciendo una vibración asincrónica de sus elementos que causan esfuerzos adicionales de tracción-compresión.

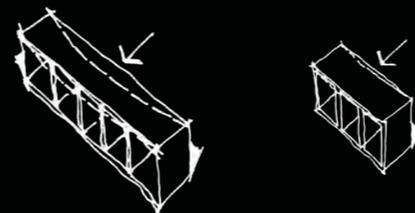


Propagación de la onda sísmica por debajo de un edificio de extremada longitud

Es recomendable diseñar edificios que no tengan una excesiva longitud, y en el caso de requerirse esta condición, colocar juntas sísmicas que lo dividan en 2 o 3 partes, separados de tal manera que las vibraciones de uno no afecten al siguiente.

• Proporción

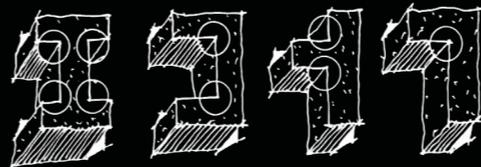
Los planos horizontales al desplazarse se apoyan sobre los planos resistentes verticales, comportándose como grandes vigas en posición horizontal. Al aumentar su longitud pierden rigidez y con ello su capacidad de vincular a los planos resistentes verticales. Cuando la longitud en planta es notoriamente mayor que el ancho, la edificación puede tener problemas para responder como una unidad ante movimientos sísmicos. En general, relaciones de largo/ancho mayores a 5 no tienen rigidez suficiente como para que la estructura responda como una unidad.



Incidencia de la proporción

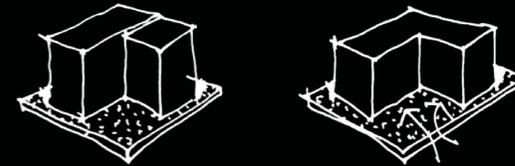
• Forma geométrica

La figura geométrica de la planta debe ser preferentemente convexa, sin entrantes o salientes. Figuras complejas como con forma de L, T, U, H, o X producen variaciones de rigidez y, por lo tanto, movimientos diferenciales entre diversas partes del edificio, provocando concentraciones de tensiones en las esquinas entrantes.



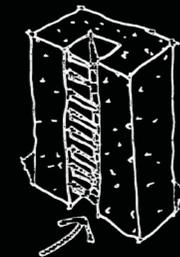
Plantas con formas geométricas con esquinas entrantes

Cuando se trabaje en proyectos cuya funcionalidad o geometría del sitio de implantación requiera el uso de figuras complejas, la solución es dividir estructuralmente el edificio en formas más sencillas, creando juntas sísmicas para que cada una de las partes pueda deformarse y resistir el sismo independientemente de las demás.



Junta sísmica que divide el edificio en L en dos alas independientes

Otra opción es arriostrar las alas con elementos rígidos que las vinculen, y puedan resistir las tensiones producidas por los movimientos diferenciales entre ellas.



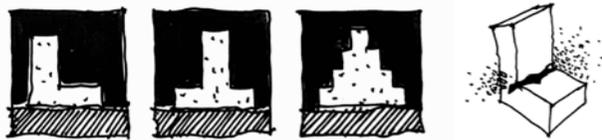
Edificio con planta en C, con sus dos alas arriostradas por vigas

2. LA CONFIGURACIÓN EN ALTURA

• Retranqueos

El retranqueo consiste en una o más reducciones bruscas de tamaño entre dos pisos consecutivos. Al igual que para las configuraciones de planta irregular, los alzados con esta particularidad geométrica producen variaciones de rigidez importantes de un piso a otro, lo que produce concentración de tensiones en el nivel donde aparece la irregularidad.

En una elevación en forma de L, la porción superior más flexible tiende a vibrar con un periodo diferente al basamento de gran rigidez, concentrando tensiones en la unión entre ambos.



Retranqueo en altura

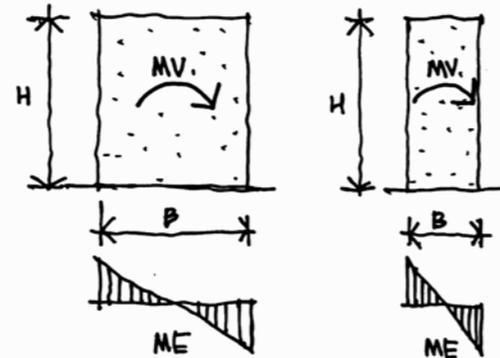
Si el escalonamiento se da de forma invertida, aumentando el tamaño de la planta en los niveles superiores, trae además aparejado un aumento de momento de vuelco debido a una posición más alta del centro de masa del edificio, y un menor brazo de palanca para el momento equilibrante, debido a la reducción del ancho de la base.



Momento de vuelco de configuraciones irregulares en altura

• Esbeltez

La relación entre ancho y alto es de mayor incidencia en el desempeño sísmico que la propia altura máxima del edificio. Mientras mayor sea la esbeltez, más severos son los efectos del momento de vuelco, debido al menor brazo de palanca del momento equilibrante, lo que produce una mayor sollicitación de compresión en las columnas exteriores.



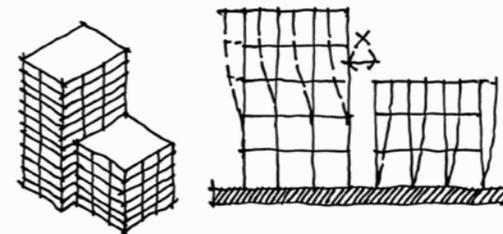
Momento de vuelco y momento equilibrante

En zonas de moderada actividad sísmica se recomienda una relación altura / ancho entre 3.5 a 5 como máximo, dependiendo del tipo de suelo.

3. EDIFICIOS ADYACENTES

Si dos edificaciones se encuentran demasiado próximas entre sí, puede ocurrir que al oscilar durante un sismo entren en contacto, produciendo esfuerzos no previstos y cambiando el comportamiento dinámico de ambas estructuras que fuera considerado en el análisis. Esto puede agravarse en casos en los cuales no coincida el nivel de losas de los edificios contiguos, produciéndose un efecto de golpeteo de la losa de uno contra las columnas del otro.

Para evitar este problema, existen dos alternativas: separar las edificaciones la distancia suficiente que evite que entren en contacto (para lo cual debiera evaluarse con precisión la rigidez y desplazamiento máximo de cada uno) o unirlos y analizar su comportamiento actuando en conjunto, previendo los refuerzos necesarios para resistir los esfuerzos adicionales que pudieran surgir.



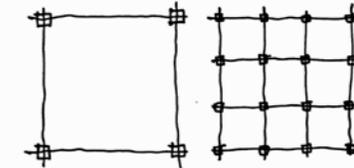
Edificaciones adyacentes

4. DISTRIBUCIÓN DE LOS APOYOS

• Cantidad

Si analizamos dos plantas del mismo tamaño, materiales y área total de apoyo, una configuración con mayor cantidad de columnas, y por ende de vigas más cortas tiene mejor comportamiento que utilizar

pocos apoyos y vigas largas.



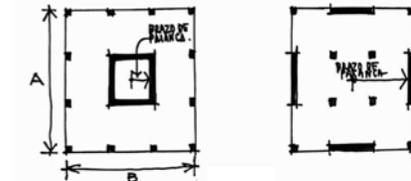
Diferentes distribución de apoyos en planta. La distribución de apoyos de la planta de la derecha, tiene mejor comportamiento ante acciones sísmicas que la planta izquierda con solo 4 columnas

Cuando existen múltiples apoyos, al comenzar a fallar uno de ellos, permite que muchos otros puedan proporcionar la resistencia necesaria, al menos para mantener el equilibrio.

• Ubicación

Dos de las principales sollicitaciones producidas por el sismo que deben resistir las estructuras son el momento de vuelco y el momento torsor, debidos a la distancia entre la masa y sus apoyos, tanto en planta como en altura.

Para resistir estos momentos la estructura cuenta con las reacciones que pueden producir sus apoyos, y la distancia entre ellos como brazo de palanca. Es por ello que resultará más eficiente una configuración que presente a los elementos verticales más rígidos (por lo general muros) en el perímetro de la planta.

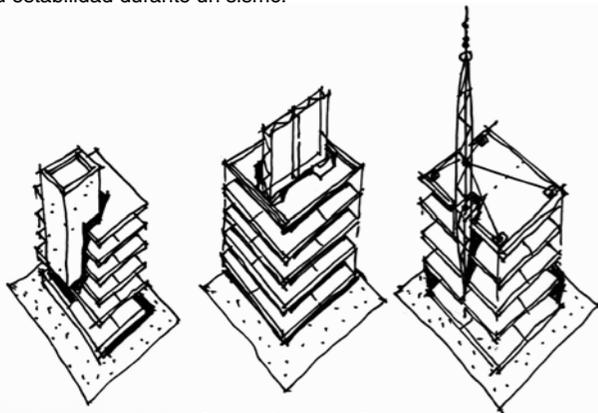


Alternativas de distribución de muros, con diferentes brazos de palanca

5. ELEMENTOS SALIENTES

Si bien estos elementos no comprometen a la seguridad integral de la propia estructura, su colapso o desprendimiento puede ocasionar accidentes o lesiones a las personas.

Elementos tales como chimeneas, tanques de agua, parapetos o cartelería deben ser dotados de una estructura propia y asegurar su adecuado anclaje a la estructura principal, de manera de garantizar su estabilidad durante un sismo.



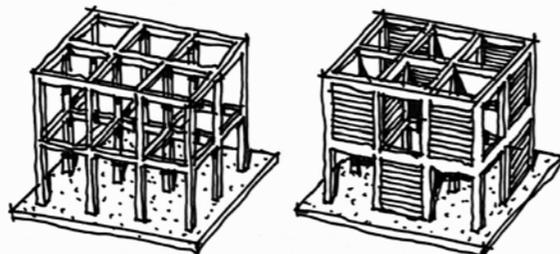
Construcciones con salientes

6. CERRAMIENTOS

A la hora de realizar el dimensionado de la estructura, el aporte de resistencia de la mampostería no portante no debe tenerse en cuenta, pero la rigidez de estos elementos sí puede afectar considerablemente al comportamiento dinámico del edificio, modificando la distribución de esfuerzos, y por lo tanto deben incluirse en el análisis sísmico.

El caso más frecuente es la rigidización de pórticos mediante el relleno de sus vanos con mampostería no portante, lo que incrementa su rigidez real, y con ello su participación en la distribución de esfuerzos.

Si esta situación no es contemplada en el análisis estructural, podrían producirse también efectos de torsión no previstos que incrementan aún más las solicitaciones consideradas en los planos resistentes verticales.



Vanos de pórticos rigidizados con mampostería

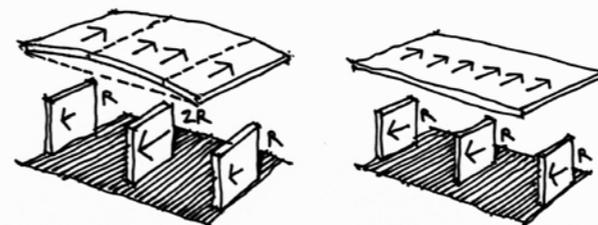
7. CONFIGURACIÓN DE LOS PLANOS HORIZONTALES

Ante acciones sísmicas, el plano horizontal se comporta como un diafragma que vincula a todos los planos resistentes verticales, transfiriéndoles las fuerzas que actúan sobre él. La forma en que esta transferencia se produzca dependerá principalmente de la rigidez de dicho diafragma.

Un plano horizontal rígido, puede considerarse como un elemento indeformable, que vinculará de manera eficaz a los planos resistentes verticales, distribuyendo las acciones sísmicas en todos ellos, proporcionalmente a la rigidez de cada uno.

Por el contrario, un plano horizontal flexible producirá que las

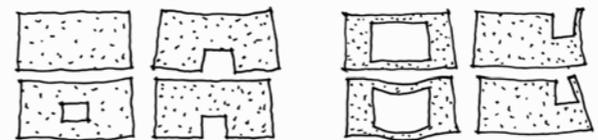
deformaciones laterales no sean uniformes, lo que perjudica a los elementos no estructurales, y produce una distribución de las acciones sísmicas en los planos resistentes verticales más irregular y difícil de predecir.



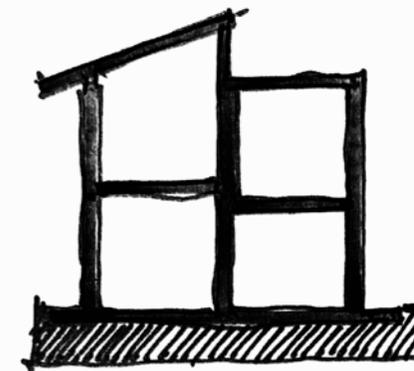
Comportamiento rígido y flexible del plano horizontal

El comportamiento del diafragma puede asemejarse al de una viga horizontal de gran canto, y para garantizar su rigidez es necesario que cumpla con ciertas características geométricas, referidas principalmente a sus proporciones, continuidad y perforaciones.

Las perforaciones de gran tamaño en el plano horizontal, ocasionan la aparición de zonas flexibles dentro del diafragma, las cuales impiden el ensamblaje rígido de los planos verticales. De igual forma, la discontinuidad producida por entrepisos, medios niveles, o cubiertas inclinadas en distintos sentidos, dificultan la correcta distribución de esfuerzos sísmicos a los planos verticales.



Deformación de un diafragma regular y aparición de distorsiones debidas a perforaciones



Discontinuidad de diafragma

8. CONFIGURACIÓN DE LOS PLANOS RESISTENTES VERTICALES

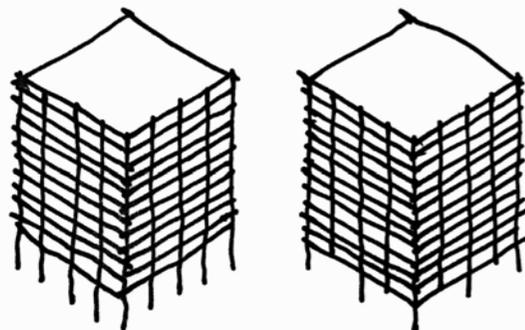
Al igual que para la configuración en planta y altura, es conveniente que exista regularidad en la estructura vertical, para ello se aconseja:

- Distribuir uniformemente los elementos de apoyo.
- Mantener la continuidad de los elementos verticales en todos los niveles, evitando cambios bruscos de su sección.
- Alinear sobre un mismo eje a las columnas y vigas de cada pórtico.
- Evitar variación brusca de secciones en los distintos tramos de vigas.

Un cambio repentino de rigidez en altura del edificio, puede producir que se modifique la distribución de esfuerzos entre los elementos verticales y que sus solicitaciones difieran de las previstas en el análisis estructural.

• **Piso débil**

Un caso frecuente de variación brusca de rigidez y resistencia es el denominado piso débil, que consiste en la presencia de un nivel con elementos verticales de menor rigidez que los superiores. Esta condición puede surgir por la disminución de la cantidad o aumento de la altura de las columnas, o por la discontinuidad de elementos rígidos de un nivel a otro. Estas situaciones son muy frecuentes en la planta baja de los edificios, donde se requiere una mayor permeabilidad y un acceso jerarquizado, pero puede suceder en cualquier nivel.



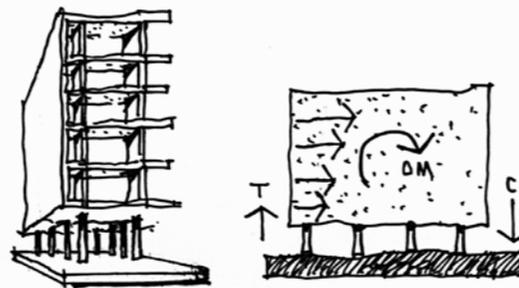
Piso débil por aumento de altura o reducción de la cantidad de columnas en planta baja

Cuando esta irregularidad se presenta, la mayor parte de las solicitaciones producidas por el sismo, y las deformaciones consecuentes, tenderán a concentrarse en el piso más débil o en el punto de discontinuidad, en lugar de distribuirse uniformemente entre todos los niveles.

• **Discontinuidad de muros**

Este es un caso especial de piso débil. Los muros (ya sean de hormigón armado o mampostería) son los principales elementos resistentes a fuerzas horizontales y presentan altas solicitaciones durante el evento sísmico. Si dichos elementos no llegan hasta la fundación, las solicitaciones producidas generan grandes exigencias en el punto de discontinuidad.

El objetivo de los muros es recibir las cargas de los diafragmas de los distintos niveles y transmitir las lo más directa y eficientemente posible hasta la fundación. Interrumpir la transmisión de estas cargas de un elemento de menor rigidez como un pórtico, representa el peor caso de piso débil y genera una gran concentración de tensiones en las columnas que poseen una resistencia significativamente menor.

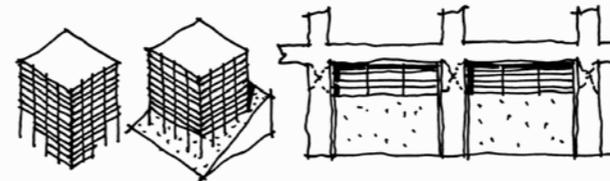


Discontinuidad de muros

• **Columna corta**

Se denomina efecto de "columna corta" a la presencia de una o varias columnas que poseen considerablemente menos altura e igual

sección que el resto de las columnas del mismo nivel. Esta situación comúnmente ocurre cuando el edificio se encuentra ubicado en un terreno de gran desnivel o cuando la posición de los aventanamientos requiere la incorporación de mampostería de cerramiento que confina lateralmente una porción de la columna.

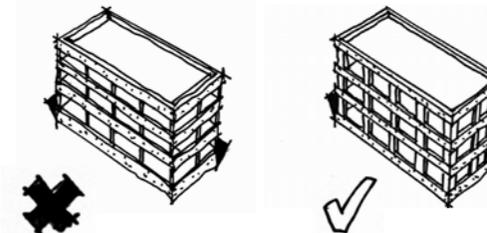


Columnas cortas

La rigidez flexional de una columna aumenta al disminuir su longitud, es decir que una columna que disminuya considerablemente su altura en relación a las demás, tendrá una rigidez mayor, a pesar de que tenga igual sección. Como la distribución de las fuerzas sísmicas se produce proporcionalmente a la rigidez de los elementos, la columna corta recibirá una porción más grande, pero teniendo la misma capacidad resistente que el resto.

• **Rigidez relativa entre vigas y columnas**

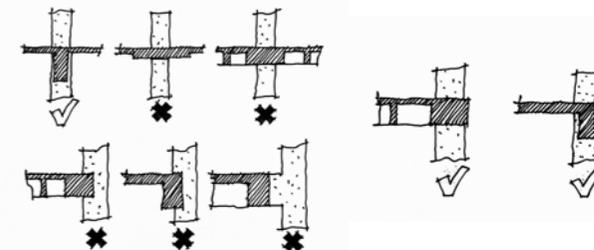
Cuando las acciones sísmicas llevan a una viga a alcanzar su máxima resistencia a flexión, comienzan a producirse deformaciones plásticas permanentes que disipan la energía del sismo, absorbiendo parte de esas acciones sin producir el colapso. En cambio, si esta plastificación sucede en los extremos de las columnas, la deformación puede generar inestabilidad y la estructura colapsa rápidamente. Un diseño estructural con columnas de mayor rigidez que las vigas, permitirá una mayor disipación de energía sin producir el colapso.



Diseño incorrecto de vigas fuertes y columnas débiles y correcto de columnas fuertes y vigas débiles

• **Nudos y conexiones**

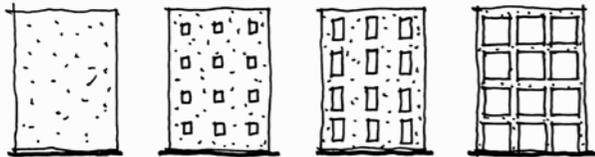
La adecuada materialización de los nudos es un punto clave en el funcionamiento de las estructuras aporticadas. Para ello debe establecerse una correcta continuidad entre los elementos, con vigas y columnas de anchos similares que eviten puntos irregulares con concentración de tensiones y faciliten la construcción de las uniones.



Nudos irregulares y regulares entre vigas y columnas

• **Aventanamientos**

Cuando un muro de hormigón armado comienza a perforarse para producir aventanamientos cada vez más grandes, llega un punto en el que estructuralmente deja de comportarse como muro para pasar a hacerlo como un pórtico.



Muro de hormigón armado que incorpora perforaciones regulares hasta convertirse en pórtico.

Las formas en que el muro es perforado o reducido a un pórtico, pueden producir áreas de concentración de tensiones, efectos de columna corta o de piso blando. Si la distribución de aberturas se hace muy errática, se crea un sistema de muy baja resistencia.



Muros con perforaciones que producen importantes concentraciones de tensiones en puntos determinados.

El mismo efecto se puede producir por el camino inverso, ante la existencia de dos muros de hormigón muy próximos, si se vinculan con una viga en cada nivel, se produce el mismo efecto que un diseño de columna débil y viga fuerte, solo que girado 90°.



Tabiques vinculados y su analogía a un pórtico de vigas muy fuertes y columnas muy débiles.

Cuando se presenta el caso de un tabique conectado mediante vigas a un pórtico, se produce una transferencia de solicitaciones conocida como interacción pórtico-tabique. Dado que el tabique es un elemento de gran rigidez y por tanto, posee solicitaciones de mayor importancia que los pórticos, pueden producirse concentración de tensiones en algún elemento. En general las opciones más adecuadas para estos casos son desconectar completamente los tabiques o vincularlos con elementos fuertes.

9. REDUNDANCIA ESTRUCTURAL

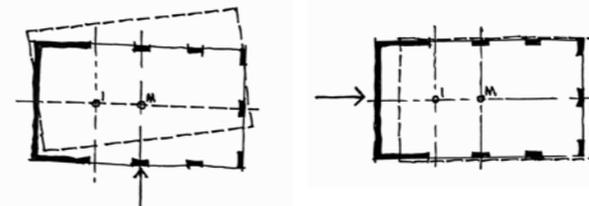
Se denomina redundancia a la presencia de elementos estructurales que en condiciones normales no desempeñan función resistente, o están subesforzados, pero que son capaces de resistir fuerzas laterales si fuera necesario, brindando un sistema alternativo de resistencia. Proporcionan seguridad en los puntos donde pudiera haber cierta incertidumbre durante el análisis.

Un mayor número de elementos resistentes mejora las posibilidades de redistribución de esfuerzos y aumenta la cantidad de puntos donde es posible la formación de rotulas plásticas, que permiten disipar energía sin producirse el colapso. Las estructuras con elevado grado de hiperestaticidad poseen considerables reservas, ya que en ellas se requiere la falla de un mayor número de piezas o elementos estructurales para alcanzar el colapso total.

10. EXCENTRICIDAD TORSIONAL

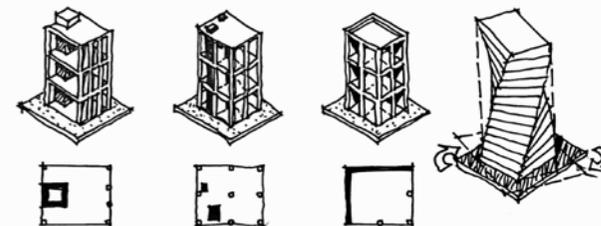
La existencia de excentricidad es quizá uno de los aspectos más perjudiciales del diseño de una estructura para zona sísmica, dado que genera solicitaciones adicionales en los planos resistentes, lo que lleva a un incremento de costos, reducción de eficiencia y alta vulnerabilidad.

Cuando la recta de acción de la fuerza estática equivalente al sismo (ubicada en el centro de masa) no coincide con la recta de acción de la resultante de las reacciones (ubicada en el centro de rigidez) se produce un movimiento de torsión que debe equilibrarse con reacciones adicionales de los planos resistentes verticales, que se suman a las reacciones ya consideradas debidas al movimiento de traslación.



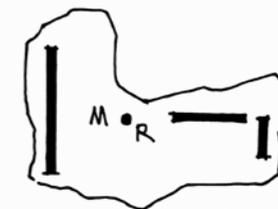
Configuración con excentricidad en una dirección y sin excentricidad en la otra

Algunos factores del diseño que frecuentemente ocasionan torsión son: la ubicación de los núcleos de circulación vertical rodeados de muros rígidos y alejados del centro de masa y el uso de muros ciegos de cerramiento en las medianeras de los edificios en esquina, en contraposición con los planos resistentes de fachada más permeables.



Configuraciones estructurales con excentricidad.

La ausencia de torsión es frecuentemente asociada a la condición de simetría en el diseño de proyecto, pero, cabe aclarar, esto no es un requisito. Puede lograrse la coincidencia de los centros de masa y rigidez en diseños asimétricos, ya que para anular la torsión no es necesaria una simetría geométrica, sino una adecuada distribución de las rigideces de los planos resistentes verticales, con respecto a los ejes baricéntricos del plano horizontal.



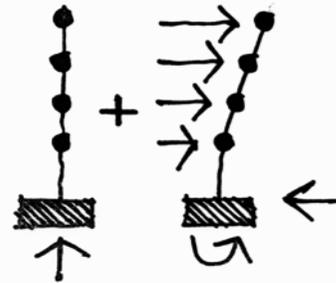
Coincidencia de centros de masa y rigidez en un diseño geoméricamente asimétrico

11. FUNDACIONES

La respuesta de la estructura bajo acciones sísmicas depende, tanto de sus propiedades dinámicas, como de las del suelo donde se apoya, y de la forma en la que se produce la interacción entre ambos. El periodo de vibración de un suelo blando es diferente al de uno rocoso, y es conveniente que la rigidez de la estructura sea aquella que le otorgue un periodo de vibración distinto al del suelo, evitando que se produzca el fenómeno de resonancia.

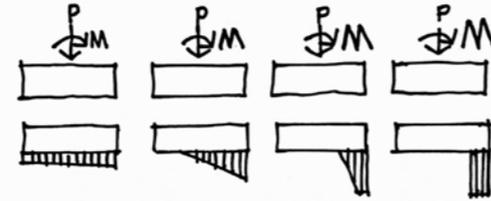
Así en términos generales se puede decir que en terrenos blandos resultará más adecuada una construcción rígida (muros o pórticos con diagonales de arriostramiento) y, en terrenos rocosos una más flexible (pórticos).

La presencia de acciones horizontales requiere que las fundaciones brinden, además de la reacción vertical para acciones gravitatorias, una reacción horizontal y un momento que equilibren los efectos del sismo. Es recomendable no fundar en sitios próximos a barrancos o grandes pendientes que puedan facilitar los deslizamientos y, tal como se vio anteriormente, que el diseño en altura posea un basamento suficientemente ancho para facilitar el empotramiento.



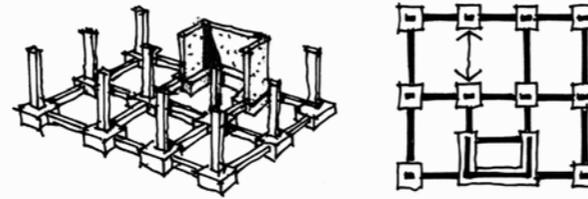
Reacciones de apoyo para acciones verticales y horizontales

En las bases de fundación, la interacción entre el momento y la carga normal produce un diagrama de presiones no homogéneo contra el suelo, lo que puede llevar a requerir una mayor superficie de contacto para evitar que se sobrepasen las tensiones máximas admisibles.



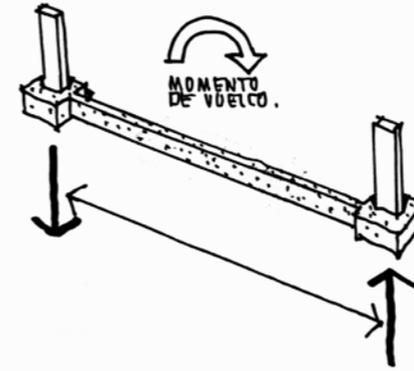
Diferentes diagramas de tensiones sobre el suelo, a medida que se incrementa el valor de momento en relación a la carga normal.

En fundaciones en zona sísmica se debe disponer además de un sistema de arriostramientos que conforme un plano horizontal capaz de impedir diferentes desplazamientos relativos entre los apoyos. El acercamiento o alejamiento de dos bases entre sí genera esfuerzos adicionales en los elementos verticales que se apoyan sobre ellas.



Arriostramientos entre bases de fundación

Si se otorga a las riostras de la rigidez suficiente, estas también cumplen la función de vigas de conexión que colaboran con el empotramiento de las bases, actuando como "brazos" que se apoyan a una mayor distancia aumentando el brazo de palanca de la cupla del momento equilibrante.



Arriostramientos mediante vigas riostras

SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

Daniel Quiroga

Una gran parte de la población mundial vive en regiones de alta sismicidad, con riesgo de sufrir efectos de terremotos de distinta severidad que causan grandes daños materiales y pérdida de vidas.

El impacto social de un terremoto es muy importante. En terremotos destructivos se postula como objetivo evitar la pérdida de vidas, mientras que en el caso de eventos de menor magnitud y más frecuentes, en el diseño convencional, se esperan daños menores reparables, pero a veces la interrupción de la función puede ocasionar pérdidas económicas varias veces mayores que el costo de las reparaciones.

Ante un evento catastrófico una población se recuperará en menor tiempo según su capacidad de transformar y soportar el tremendo impacto, lo que hoy se conoce como resiliencia.

La resiliencia es una conocida propiedad en la mecánica de materiales y, en la psicología, se utiliza la acepción como la capacidad de las personas para sobreponerse a un impacto o a un evento dramático. Existen organizaciones dedicadas a difundir y desarrollar ciudades resilientes (Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastres - UNISDR).

La práctica ingenieril puede aportar dotando de resiliencia a las construcciones, en particular, y a las ciudades, en general, por medio de propuestas de diseño que tengan

como objetivo de desempeño evitar deformaciones residuales o reemplazos de componentes estructurales durante los eventos frecuentes y diseñar sistemas de protección para toda la estructura en el caso de eventos extraordinarios.

En la práctica profesional, los métodos convencionales y los reglamentos actuales conciben el diseño sísmico como una jerarquización en los componentes estructurales de tal modo que disipen la energía en forma segura buscando preservar la vida humana y minimizar el riesgo del colapso estructural, pero asumiendo el ingreso de energía a las estructuras para ser disipada en distintas partes de la misma, ocasionando daño en sus componentes.

En las nuevas tendencias de diseño se aspira evitar el ingreso de la energía mediante el aislamiento sísmico o bien, una vez ingresada, disiparla mediante artefactos específicos dispuestos en la construcción. A estos dispositivos se los conoce como Sistemas de Protección Sísmica.

La energía del terremoto

La acción sísmica accidental es de una gran magnitud, pero de baja probabilidad de ocurrencia comparada con el resto de las fuerzas de diseño tales como nieve, viento, etc. La filosofía actual de diseño sismorresistente considera esta disyuntiva y prevé considerar acciones reducidas asociadas a un terremoto con determinada recurrencia, pero permitiendo que la estructura se comporte más allá del límite elástico y, mediante detalles adecuados,

permitir que pueda sostener deformaciones plásticas haciendo uso de la ductilidad.

El terremoto libera energía en el hipocentro y se manifiesta a nivel de la corteza destruyendo la infraestructura o bien, al ingresar a un edificio, generando daños al superar la resistencia de sus componentes estructurales.



En términos de balance de energía, se puede expresar mediante una ecuación la energía que ingresa a la estructura (a un lado) y cómo se distribuye en la misma (al otro) (Uang-Bertero-Akiyama, 1999).

$$E'_I = E'_K + E_D + (E_S + E_H)$$

Siendo:

E'_I = Energía total introducida por un terremoto (input)

E'_K = Energía de deformación por energía cinética

E_D = Energía disipada por amortiguamiento viscoso y está relacionada con el amortiguamiento inherente al propio sistema estructural

E_S = Energía de deformación elástica

E_H = Energía disipada por amortiguamiento histerético

Una estructura bajo la acción de un terremoto tendrá un desempeño adecuado si es capaz de soportar la demanda de deformaciones sin que se produzcan fallas frágiles que limiten el comportamiento plástico, siempre que esas deformaciones sean compatibles con la estabilidad global de la construcción.

Como consecuencia de esta incursión inelástica se espera que la estructura sufra daños en las zonas de mayor demanda de sus componentes estructurales. Si bien la estructura puede resultar estable, en algunos casos, podría suceder que no continúe prestando las funciones para las que fue creada y deba ser descartada.

En cambio, para un movimiento determinado gran parte de la energía puede ser disipada mediante la incorporación de algún dispositivo y así disminuir la participación de los componentes estructurales minimizando o evitándoles el daño.

Sistemas de Protección Sísmica

El diseño sísmico convencional tiene como objetivo la jerarquización de componentes donde se pretende la disipación de energía conocidos como "rótulas plásticas" que concentrarán el daño estructural a través del comportamiento inelástico de los materiales.

Como una alternativa al diseño convencional se presenta el diseño innovador de estructuras por la adición de dispositivos conocidos como Sistemas de Protección Sísmica. Estos Sistemas son muy eficientes, confiables y versátiles lo que ha llevado

a que se hayan difundido ampliamente, en especial en países más desarrollados tecnológicamente.

El objetivo de los Sistemas de Protección Sísmica es localizar en ciertos dispositivos los efectos de deformaciones lineales y no lineales que el terremoto induce a las construcciones para que luego, en caso de daño, éstos puedan ser sustituidos fácilmente. En algunos casos se los conoce como fusibles (haciendo una analogía eléctrica) concentrando la falla en elementos de reemplazo sencillo, sin que se transmita a los componentes principales de la estructura. Se presentan como alternativa para minimizar las dificultades, interrupciones de funciones o para mejorar el desempeño en construcciones nuevas, y se los puede clasificar en (Christopoulos y Filiatrault, 2006):

SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA	
SISTEMAS DE AMORTIGUAMIENTO SUPLEMENTARIO	Amortiguadores Pasivos (No requieren fuentes de energía)
	Amortiguadores Activos y Semiactivos
SISTEMAS DE AISLAMIENTO	



Ensayo en mesa vibradora a) Base Fija b) Base aislada (UCSD)

AISLAMIENTO SÍSMICO

Las construcciones se vinculan al terreno a través de sus apoyos que se denominan en forma genérica fundaciones o bases. De este modo se garantiza la transferencia de todas las acciones de la superestructura al terreno para asegurar el equilibrio.

El aislamiento sísmico es un subsistema estructural que se incorpora en el edificio con el objeto de modificar sus propiedades dinámicas y se coloca entre la fundación y los puntos de soporte del edificio, o bien, en el caso de puentes, entre la superestructura del tramo y la infraestructura (pilas y estribos). Esto se logra proporcionando al sistema de aislamiento de una rigidez lateral más baja que la vertical lo que produce el desacople del movimiento enunciado obteniendo un aumento del período propio del edificio.

La construcción aislada se desplazará más que si se tratara de edificios de base fija. Esta situación se pone de manifiesto en los ensayos en mesa vibradora realizados en la Universidad de California (UCSD), donde se observan dos modelos a escala de un edificio convencional (izquierda) y un edificio aislado (derecha).

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL AISLAMIENTO SÍSMICO

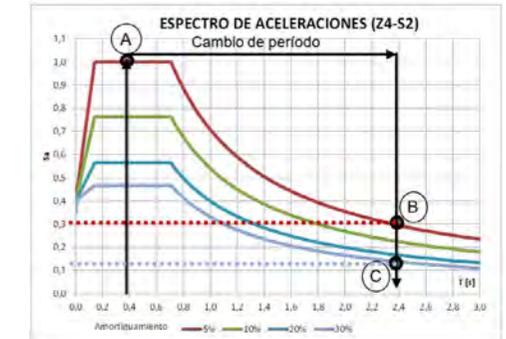
La incorporación de dispositivos de aislamiento a una construcción (puente, edificio, etc.) modifica sus propiedades dinámicas a partir de dos parámetros: el período y el amortiguamiento. La geometría y el material del aislador le

proporcionan características de período y amortiguamiento que, introducidos en el sistema global de la construcción, también producirán modificaciones en las dos propiedades dinámicas enunciadas.

El nuevo sistema (construcción + aislamiento) tendrá ahora un nuevo período y un nuevo amortiguamiento ocasionando una modificación en la respuesta estructural.

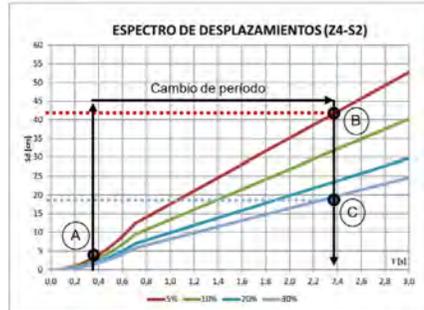
Se ejemplifica a continuación la modificación en el comportamiento global de la construcción. Se hace notar que ambos espectros que a continuación se ilustran son derivados del reglamento actual para explicar el fenómeno.

El efecto de la incorporación de aislamiento se observa en la siguiente imagen al pasar de un caso (punto A) a otro (punto B) por aumento del período y del punto B al punto C por aumento del amortiguamiento. En ambos casos se produce una disminución en las demandas de aceleración.



Paralelamente se observa en esta otra imagen el efecto del aislamiento en los desplazamientos donde se produce una mayor demanda al aumentar el período y pasar del edificio de base fija (punto A) al edificio de base aislada (punto B). Si complementariamente se puede disponer de la incorporación de amortiguamiento suplementario, la demanda de desplazamientos decrece (del punto B al punto C).

Las solicitaciones impuestas a la estructura con aislamiento serán menores que la demanda del terremoto permitiendo un comportamiento cercano al elástico, pero, es evidente que la reducción depende tanto de las características del edificio como del espectro del terremoto.



Influencia del aislamiento en la respuesta de desplazamientos.

TIPOS DE AISLADORES

Existe una gran cantidad y, en forma permanente, hay desarrollos de nuevos dispositivos que se distinguen por el principio de funcionamiento o por las características de los materiales constitutivos. Los más relevantes son:

- Elastómeros
- Apoyos de goma natural y sintética de bajo amortiguamiento
- Goma de Alto Amortiguamiento
- Goma y Plomo
- Resortes
- Péndulo de Fricción
- Otros Sistemas

Elastómero

Al principio se usaron los apoyos de goma natural como bloques de goma sin placas de acero internas y posteriormente se desarrollaron los apoyos con placas de acero vulcanizadas en el interior lo que evita las deformaciones y le confiere un aumento importante en la rigidez vertical respecto del valor de la rigidez horizontal. Se los diferencia entre apoyos de bajo y alto amortiguamiento (<https://cauchosvikingo.com/aisladores-sismicos/>).



Aislador elastomérico en el capitel de una columna de acero en el subsuelo de un edificio.
www.architecture.org.nz



Hospital Ishinomaki de la Cruz Roja con un sistema aislamiento-disipación. La superestructura de hormigón armado se apoya en un chasis de vigas de acero sobre aisladores de neopreno. Las piezas verdes en forma de "U" son disipadores adicionales.
www.structuremag.org

La instalación de los aisladores se realiza en una interface entre la fundación y la superestructura. Sobre el sistema de fundación se coloca una placa que recibe el aislador, generalmente por medio de barras de anclaje, dejando una disposición similar para recibir a la superestructura (www.iomm.org.my)



Apoyos de goma natural y sintética de bajo amortiguamiento

Los apoyos de goma natural de bajo amortiguamiento y de goma sintética se han usado ampliamente en Japón junto con dispositivos de amortiguamiento suplementarios, tales como amortiguadores viscosos, barras de acero, barras de plomo o dispositivos friccionales entre otros (Naeim y Kelly, 1999).

El aislador se conforma con dos placas exteriores de acero y otras interiores más finas que se vulcanizan con la goma en un proceso bajo presión y temperatura dentro de un molde. Las placas internas de acero evitan la deformación transversal de la goma (forma de barril) y le confiere rigidez vertical, mientras que no tiene efecto en la rigidez horizontal. El comportamiento del material a corte es prácticamente lineal para deformaciones del orden del 100%, con valores de amortiguamiento en un rango de 2% a 3%, siendo de fabricación sencilla, fácil de moldear y con respuesta mecánica casi inalterable por temperatura o envejecimiento. La desventaja más importante es que necesita de un dispositivo de amortiguamiento suplementario que demandará conexiones a la estructura.



Aislador cilíndrico con placas cuadradas.
www.agom.it



Aislador cilíndrico con placas cilíndricas e insertos para hormigón.
www.mageba.com

Apoyos con Alto Amortiguamiento: Goma o Plomo

En 1982 se desarrolló en Malasia (Malaysian Rubber Producers Research Association) un compuesto de goma natural con suficiente amortiguamiento, el que se obtiene por medio de agregados. Los métodos de vulcanización, pegado y construcción del aislador se mantienen del mismo modo que los anteriores.

Su comportamiento es no lineal, presentando valores altos de rigidez y amortiguamiento para bajas deformaciones de corte (del orden del 20%), lo que minimiza la respuesta para viento o cargas sísmicas de bajo nivel. Esta formulación del material permite prescindir de dispositivos de amortiguamiento suplementarios.

En Nueva Zelanda en 1975 se inventaron los aisladores con la incorporación de una barra de plomo. Su constitución es similar a los anteriores, a los que se adiciona una barra de plomo insertas en agujeros previstos en la parte central. Al deformarse por corte las placas de acero deforman al plomo hasta una tensión de fluencia del orden de 10 MPa proporcionando una respuesta bilineal con ciclos estables ya que el plomo se recristaliza a temperatura ambiente y su fluencia no produce fallas por fatiga. El plomo debe

quedar muy ajustado dentro del aislador, lo que se logra haciendo que la barra de plomo sea levemente mayor que el agujero e introduciéndolo a la fuerza



Esquema Aislador Goma y Plomo
(<https://www.fipmec.it/es/products/dispositivos-antisismicos-y-antivibratorios/>)

Resortes

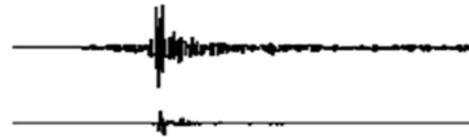
Los aisladores de resortes se han usado generalmente en equipos industriales y no habían tenido desarrollo en el aislamiento de edificios. Una de las primeras aplicaciones reportadas es una construcción unifamiliar en Santa Mónica, California identificada como Casa Lowe.

En nuestro país se ha realizado una instalación de características similares en uno de los edificios destinado a la residencia estudiantil de la Universidad Tecnológica Nacional de la Facultad Regional de Mendoza. De los tres bloques proyectados, de tres niveles cada uno, se implementó en uno de ellos un sistema de cuatro aisladores de resortes con el agregado de cuatro amortiguadores viscosos. Para seguimiento de la respuesta sísmica se instrumentaron dos torres, una aislada y otra de base fija.



Vista exterior del edificio de Residencia Universitaria de la UTN de la FRM y sistemas de aisladores de resortes y amortiguador viscoelásticos ubicados en la interface entre la superestructura y su fundación.
www.gerb.com

Durante el sismo ocurrido en Mendoza el 18 de junio de 2012 se pudieron obtener los registros de ambos edificios poniéndose en evidencia la disminución de la demanda a partir de la observación de los registros. Para un movimiento Este-Oeste se logró una reducción pasando de 24% a 7% de la aceleración de la gravedad (Tornello, M.).



Residencia UTN - FRM. Registros de aceleraciones sísmicas Mendoza el 18/06/2012. Arriba: torre con base fija, abajo: torre aislada

Los aisladores de resortes son apropiados para filtrar movimientos horizontales, pero presentan un amortiguamiento del orden del 2% solamente (Tornello y Sarrazin, 2005), lo que conduce a que se deban utilizar en paralelo con algún sistema que incorpore amortiguamiento suplementario.

Frente a las acciones verticales son menos rígidos que los elastoméricos lo puede evaluarse desde dos ópticas: una desfavorable, ya que se producen acoplamientos entre las acciones verticales y horizontales y, otra favorable, ya que

permitirían filtrar las vibraciones verticales provenientes de sismo de falla cercana (Tornello y Sarrazin, 2005).

Péndulo de Fricción

El sistema de péndulo friccional consta de dos partes: (a) una superficie con curvatura y que se vincula a la estructura principal del edificio, realizada en acero inoxidable perfectamente pulido para permitir el deslizamiento y (b) el deslizador, que se vincula a la estructura de fundación, con una superficie con curvatura que permite el movimiento relativo gracias al revestimiento con materiales de bajo coeficiente de fricción, en general, PTFE (Politetrafluoretileno). El principio de funcionamiento es que en primer término el dispositivo desacopla los desplazamientos entre la superestructura y la fundación trabajando según el concepto de aislamiento sísmico, con la ventaja adicional de que se produce una fuerza de recentrado debido al propio peso en cada apoyo actuando sobre la superficie esférica, lo que genera una estabilización y vuelta a su posición inicial. Las superficies de contacto deben ser capaces de permitir este deslizamiento y por ello se trata en general de acero inoxidable y revestimientos de teflón para disminuir el rozamiento.

Se destaca el desarrollo de un sistema



Montaje de un Péndulo de fricción.



Ensayo de un Péndulo de fricción.

de péndulo de fricción que se ha utilizado para la reconstrucción de viviendas luego del terremoto de L'Aquila, Italia, el 6 de abril de 2009. El proyecto denominado C.A.S.E (Complessi Antisismici Sostenibili ed Eco-compatibili) estaba destinado a la construcción de 185 edificios de departamentos, con una planta baja común a todos, donde alberga los estacionamientos resueltos con columnas de acero que, en los

capiteles, se ubicaron alrededor de 7400 aisladores tipo péndulo de fricción. Sobre ellos se construyeron los entresijos y edificios prefabricados que se completaron en tan sólo 9 meses.



Aislador de péndulo "Isoslab System" (Freyssinet y Studio Calvi). Edificio con planta baja de cocheras aislado.

Otros Sistemas de Aislamiento

Se han desarrollado otros sistemas, continuando la investigación y desarrollo en forma permanente buscando mejoras de distinta índole respecto de los existentes. Se muestran algunos que no han tenido tanta aplicación.



Aisladores deslizantes de doce piezas
www.fhwa.dot.gov



Deslizador con teflón del Aeropuerto de Mineta, C.A.
www.structure.org

DISIPACIÓN DE ENERGÍA SISMICA

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA DISIPACIÓN

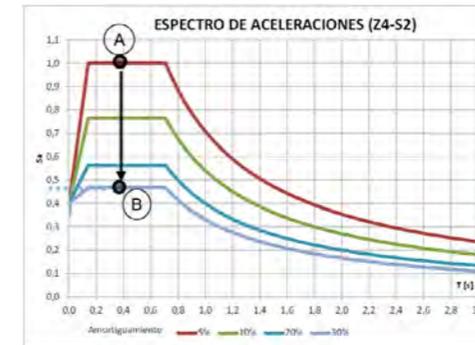
La disipación de energía sísmica que ingresa a una estructura se produce a través del amortiguamiento suplementario que le suministren los mecanismos dispuestos para tal fin.

Las propiedades dinámicas del sistema estructural (construcción + disipadores) podrán ser modificadas de acuerdo con sus características en términos de

amortiguamiento o en términos de rigidez.

A continuación, se muestra el comportamiento de un sistema en el que se han incorporado dispositivos de disipación. Se hace notar que ambos espectros son esquemas gráficos conceptuales para explicar el fenómeno y no son estrictamente exactos en términos numéricos.

Tal como se mencionó en los sistemas de aislamiento se suelen agregar dispositivos de disipación o bien el mismo aislador tiene propiedades que modifican el amortiguamiento.



Influencia del amortiguamiento en la respuesta de aceleraciones.



Influencia del amortiguamiento en la respuesta de desplazamientos

Se muestra en los espectros el efecto de pasar de una situación primitiva (punto A) a una construcción con algún sistema que incorpora amortiguamiento suplementario (punto B) logrando reducciones en la demanda de aceleración y, en menor medida, de desplazamiento.

El diseño sismorresistente convencional considera la disipación de energía en componentes que forman parte de la estructura y se manifiesta, en general, en zona de comportamiento no lineal conocidas como rótulas plásticas. La respuesta estructural depende de la estructura en general y de la respuesta a nivel local de estas rótulas como se aprecia en el esquema a continuación (Soong y Dargush, 1999). La selección o diseño de esta secuencia de rotulación se la conoce como el diseño del Mecanismo de Plastificación.



Estructura con Diseño convencional

Los sistemas de disipación de energía tienen por objeto consumir una parte de la energía sísmica que ingresa a la estructura, sin fuentes de alimentación externas, y que

se activan por el movimiento del sistema estructural principal con la ventaja de poder reemplazarse fácilmente en caso de daño (como si fuera un fusible).

Los Sistemas de Disipación pueden ser: pasivos, con control activo, con control híbrido y con control semiactivo.



Estructura con Sistema Pasivo de Disipación

Cada sistema de disipación requiere de un impulso externo para su activación que puede ser por aceleración, velocidad o desplazamiento.

La clasificación más común se muestra en la tabla siguiente:

SISTEMAS DE AMORTIGUAMIENTO SUPLEMENTARIO	AMORTIGUADORES PASIVOS	FLUENCIA DE METALES
		FRICCIÓN
		VISCOELÁSTICOS
		MASA SINTONIZADA
		LÍQUIDO SINTONIZADO
	AMORTIGUADORES ACTIVOS Y SEMIACTIVOS	AUTOCENTRADO
		ARRIOSTRAMIENTOS
		MASA SINTONIZADA
		RIGIDEZ VARIABLE
		AMORTIGUAMIENTO VARIABLE
		PIEZOELÉCTRICO
		REOLÓGICO

TIPOS DE DISIPADORES

DISIPADORES HISTERÉTICOS

Los sistemas de disipación histeréticos incluyen a los amortiguadores metálicos y los de fricción y se encuadran en la categoría de los dispositivos activados por el desplazamiento. Los metálicos hacen uso de la propiedad de los metales (histéresis) aprovechando el comportamiento en el rango inelástico de disipación. Los segundos disipan por la fricción entre dos superficies en contacto que se desplazan una sobre otra.

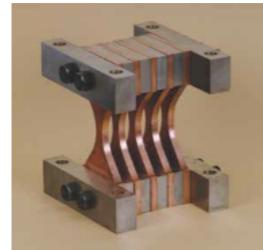
Disipadores metálicos o de Fluencia

Los dispositivos metálicos hacen uso de las propiedades de los metales (acero, plomo, etc) para disipar energía. Se los conoce también como disipadores de fluencia o por plastificación.

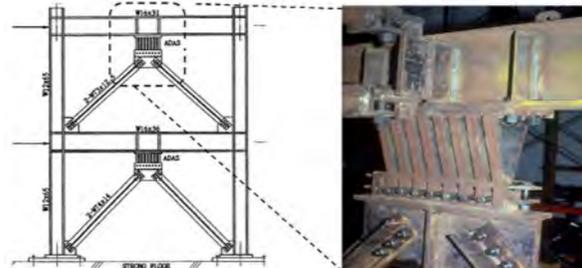
Los disipadores de fluencia

se basan en la deformación plástica de componentes sólidos de acero a flexión, corte, torsión o combinación de ellos, produciendo la disipación y manteniendo su rigidez luego de ciclos estables de deformación (Bruneau, Uang y Sabelli, 2011).

Presentan una alta rigidez elástica y pueden sostener muchos ciclos estables de deformación post-fluencia dando como resultado altos niveles de disipación de energía o amortiguamiento. Los disipadores histeréticos por fluencia pueden ser por flexión, axiales de pandeo restringido, de placas post-críticas, de corte y torsionales entre los más comunes. Entre los primeros desarrollos figuran los sistemas ADAS, TADAS y los de placas plegadas.



Dispositivo ADAS (CDT. Documento N° 29. Chile)



Dispositivo TADAS. Esquema y montaje para ensayo. Tsai et al. (1993)



Edificio Titanium, Chile. Disipador de placas plegadas. www.adi-ag.cl

Barras de Pandeo Restringido

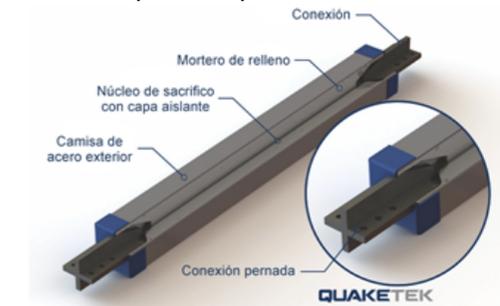
Muchas investigaciones dieron lugar a una gran cantidad de dispositivos entre los que se destacan las Barras de Pandeo Restringido (BPR) o Riostras de Pandeo Restringido (RPR) o, por su denominación en inglés BRB (Buckling Restrained Brace).

El desarrollo de las barras de pandeo restringido se inicia en 1970 (Kimura et al.). El más completo que permitió validar un dispositivo para la Nippon Steel es de 1989 (Wada et al.).

Las BPR están constituidas por tres partes principales: un tubo exterior tipo camisa, un corazón de acero interior que constituye principalmente el disipador y un mortero de relleno que llena el espacio entre la barra de disipación y la camisa exterior. Para permitir el deslizamiento entre la barra interior y el mortero se disponen distintas soluciones de superficies deslizantes.

El principio de funcionamiento es muy simple. Cuando la riostra es solicitada a tracción, trabaja la sección de acero interior que está conectada directamente a la estructura principal. Cuando el esfuerzo se invierte, la sección interior es sometida a compresión, pero, como en general tiene mucha esbeltez, tiende a pandearse. En ese momento entra en juego el resto del dispositivo que tiene una esbeltez mucho menor y se retrasa el pandeo del conjunto. De este modo la barra queda en condiciones de admitir un nuevo ciclo en tracción y así en sucesivos ciclos ir disipando la energía por el comportamiento en tracción de la

barra del núcleo central. Como premisa de diseño se pueden manejar con bastante independencia ambas resistencias (tracción y compresión) permitiendo cubrir un espectro amplio de soluciones estructurales.



Componentes de BRB (Quaketek)

Disipadores de placas (post-críticas) Muros de corte con placas de acero (SPSW)

Los muros de corte con placas de acero (Shear Plate Steel Wall, en inglés) es un sistema estructural formado por placas de acero vinculadas en todo su perímetro a vigas y columnas, en general, también de acero, donde la placa de acero se diseña para un comportamiento post-crítico, es decir, posterior al pandeo y al formarse bandas traccionadas (campos de tracción de Basler) se produce un mecanismo de disipación, mientras que el resto de los componentes de borde permanecen elásticos.

Desde el muro simple de placas de acero con

marco perimetral también de acero se han desarrollado otros sistemas con placas perforadas y muros compuestos (acero + hormigón). En la imagen se observa el estado final de la placa luego del ensayo a cargas horizontales en un muro de corte con placas de acero donde se aprecia el comportamiento post-crítico por medio de las bandas traccionadas (Bruneau, Uang y Sabelli, 2011).



Muro de acero al finalizar el ensayo cíclico

Disipadores por fricción

Los dispositivos por fricción utilizan el rozamiento como principio de disipación.

Se pueden lograr mediante conexiones abulonadas con pernos de alta resistencia que presionan las placas y, cuando los esfuerzos sísmicos intentan desplazarlas relativamente, se genera fricción entre los componentes. Los más conocidos son “Slotted Bolt Connections” (Tremblay y Steimer, 1993), “Dispositivo de Fricción Sumitomo” (Aiken y Kelly 1993) y “Sistema Pall” (Pall y Marsh 1981).

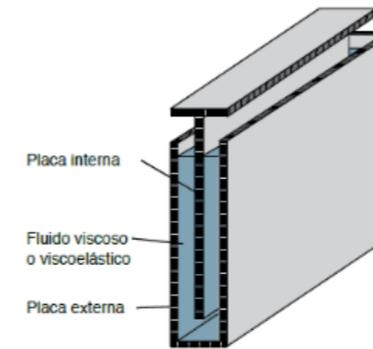
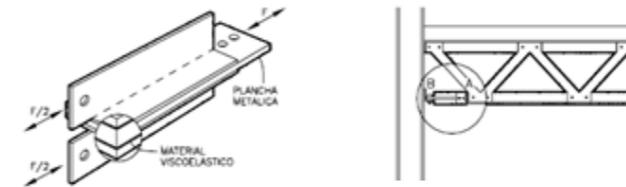


Disipador por fricción tipo Pall. Rehabilitación de un edificio de 14 pisos (Shao, Pall y Soli, 2012)

DISIPADORES VISCOELÁSTICOS

Los disipadores viscoelásticos pertenecen al grupo de dispositivos activados por el desplazamiento o por la velocidad.

Previo a su utilización en la ingeniería civil después de 1969, se empleaban en las estructuras aeroespaciales. Los edificios de las torres gemelas en Manhattan (World Trade Center, desaparecidas el 11 de septiembre de 2001) tenían dispuestos alrededor de 100 disipadores por planta para el control de vibraciones del viento.



Dispositivo Viscoso (CDT. Documento N° 29. Chile)
Disipadores viscoelásticos

Los materiales más comunes que se utilizan son polímeros que disipan energía bajo la acción de deformaciones de corte. En el caso de sólidos viscoelásticos, el más simple es un dispositivo que se introduce en las riostras de un sistema estructural y al interrumpir la sección de acero de la riostra se vinculan las dos partes con un material viscoelástico como el que se muestra en el esquema anterior.

Los amortiguadores de fluido viscoso pueden presentarse como cilíndricos, lineales para pared y de fluido por orificio. El principio de funcionamiento es similar al de un amortiguador de automóvil donde se produce la transformación de la energía mecánica en calor cuando un pistón deforma el fluido viscoso.

Estos dispositivos se emplean con éxito en edificios como complemento del aislamiento para proporcionar un amortiguamiento suplementario, tanto para acciones sísmicas como para vibraciones inducidas por el viento (Constantinou, Soong y Dargush, 1998).



Disipadores de fluido viscoso.
www.taylordevices.com



Amortiguador viscoso
www.gerb.com

SISTEMAS DE AUTOCENTRADO

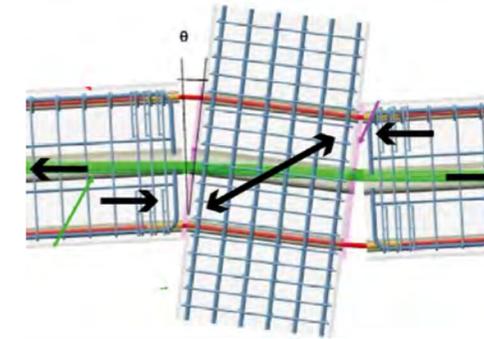
Los sistemas de autocentrado o de recentrado tienen la particularidad de volver a los parámetros involucrados (fuerzas y desplazamientos) a sus condiciones iniciales. Los sistemas de autocentrado más comunes son: muros oscilantes (rocking wall), pórticos resistentes a momento postesados y aleaciones con memoria de forma (shape memory alloys) que presentan un comportamiento histerético autocentrado.

Las primeras investigaciones con sistemas de autocentrados, usando el concepto de estructuras oscilantes como se describió en construcciones antiguas, fueron desarrolladas en la década de 1990 durante casi diez años bajo un programa denominado U.S. PRESSS (Precast Seismic Structural Systems) llevado a cabo por Priestley y Nakaki. La idea era aprovechar las ventajas del prefabricado adicionando la técnica del postesado sin adherencia (unbonded post-tensioning elements).

A partir del concepto de componentes oscilantes se provee de un sistema de re-centrado por medio de la acción del postesado y de la acción de la gravedad, manteniendo un comportamiento elástico en todo el sistema estructural y reservando la disipación de energía solo para dispositivos

puntuales dispuestos a tal efecto.

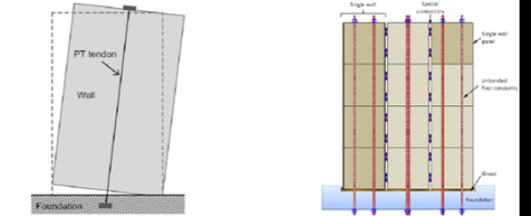
Las aplicaciones más comunes se han desarrollado en pórticos y tabiques. En el caso de los pórticos el sistema de postesado se coloca en el baricentro de la sección y en los extremos, donde se producen los máximos desplazamientos por la rotación, se disponen las barras de disipación (mild steel).



Sistema de pórtico híbrido (<https://www.clarkpacific.com/>)

Para el caso de los muros hay diferentes configuraciones al emplear uno o varios tendones para obtener el efecto del autocentrado. La disipación puede obtenerse por medio de placas colocadas en la interface de cada muro o a través de barras de acero dúctil.

También se han podido desarrollar sistemas de autocentrado para mampostería, estructuras de acero y estructuras de madera.



Sistema de muros oscilantes postesados (Kurama et al. 1999, Priestley et al. 1999)

AMORTIGUADORES DE ABSORCIÓN DINÁMICA

Los sistemas de amortiguadores de absorción dinámica o sintonizados, utilizan la fuerza de inercia de una masa como fuerza reactiva de control. El objetivo de diseño de un amortiguador sintonizado es, al igual que el resto de los sistemas, reducir las demandas de disipación de energía en el sistema estructural principal.

Si bien en principio se desarrollaron para fuerzas de viento, también se utilizan para las acciones sísmicas. Los problemas que los afectan son cuando se salen de sintonía porque la estructura principal tiene incursiones

inelásticas que modifican sus propiedades dinámicas originales y su respuesta ante acciones impulsivas, característica de los terremotos de falla cercana.

Los dos sistemas conocidos son amortiguadores de masa sintonizada y de líquido sintonizado.

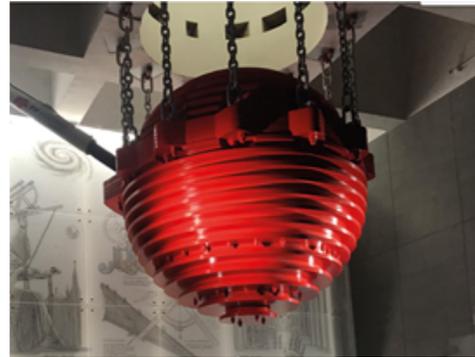
Masa Sintonizada TMD (Tuned Mass Damper)

Los primeros desarrollos fueron de Frahm en 1909 y Den Hartog en 1956 (Soong y Dargush, 1997) donde el objetivo era que la masa principal del edificio "M" permanezca estacionaria por la elección de los parámetros de frecuencia de una masa auxiliar "m", lo que significa sintonizar, poner en frecuencia, ambas masas "m" y "M". Uno de los ejemplos más modernos es el del edificio Taipei 101 que cuenta con una masa suspendida en los últimos niveles que cumple esta función. Se completa el sistema con disipadores viscosos para proveer amortiguamiento.



Amortiguador de masa sintonizada. Taipei 101. Esquema (izquierda) Péndulo y amortiguadores viscosos (derecha) (<https://arquitectl.blogspot.com/2014/08/taipei.html>)

Otra aplicación se puede observar en un edificio en Chile con una masa de hormigón de 160 toneladas vinculada a un disipador de fluido viscoso para proporcionar un amortiguamiento suplementario.



Amortiguador de masa sintonizada. Edificio Cámara Chilena de la Construcción (www.revistabit.cl)



Edificio One Rincon Hill South Tower. USA. Esquema de funcionamiento (<https://www.reddit.com>)

Líquido sintonizado TLD (Tuned Liquid Damper)

El principio de un amortiguador de líquido sintonizado es similar al descrito para masa sintonizada. La masa está representada por un líquido que se moverá cuando sea activado por una excitación exterior, generalmente, de viento o sismo.

La disipación se produce por el oleaje y por el pasaje entre cámaras tipo columnas utilizando el principio de vasos comunicantes (TLCD, Tuned Liquid Column Damper). La respuesta del sistema es altamente no lineal ya sea por el oleaje del líquido o por la presencia de orificios en la comunicación de las dos cámaras.

En la imagen puede observarse la instrumentación en un edificio y el esquema de funcionamiento. Se aprecia una barrera de tubos (baffles) para generar un comportamiento no lineal del oleaje (sloshing).

Los TLD presentan algunas ventajas respecto de los TMD ya que la fuerza de restauración no necesita ningún mecanismo porque el agua responde en forma instantánea a pesar de que el nivel de excitación sea mínimo. Su implementación práctica es simple y se debe disponer un tanque de agua común y esto permite adaptarlo a construcciones existentes. Dado que la frecuencia del amortiguador depende fundamentalmente de la columna de agua, el posible error es mínimo debido a la suficiente precisión que se puede lograr en la medición y control del nivel de la misma.

Por último, cuando se debe resolver una construcción con propiedades dinámicas diferentes en sus dos direcciones principales, se deberá lograr sintonizar ambas frecuencias. La solución simple será la de disponer un tanque rectangular con propiedades necesarias en cada dirección, en lugar del tanque cuadrado o cilíndrico para situaciones similares según dos ejes con iguales características.

CONCLUSIONES

La difusión y utilización masiva de los Sistemas de Protección Sísmica por los diseñadores de estructuras sismorresistentes debe venir acompañada de desarrollos locales de estos dispositivos, al igual que la regulación a través de reglamentos y guías de diseño. Un reglamento nacional actualmente se encuentra en elaboración.

De este modo la ingeniería aportará su colaboración en la reducción de la vulnerabilidad de las construcciones, en particular, y de las poblaciones, en general, tendientes a la mejora de la resiliencia estructural que no será otra cosa que contribuir a la resiliencia de las personas y, en último caso, a la resiliencia de las ciudades.

EDIFICIO ALVEAR 1

VISTA PUEBLO. MENDOZA

Edificio destinado a Oficinas Premium y de locales comerciales. Contará con una superficie total de 6.024m² cubiertos en un total de 7 niveles y un amplio hall de ingreso con seguridad y recepción personalizada. En planta baja, zócalo comercial con locales, y en 1er piso, amenities con salas de reuniones, coffee work, área de esparcimiento y recreación, área de reuniones informales y auditorio.

A partir del 2º y hasta el 6º piso, encontramos 16 espacios modulables por piso, donde cada oficina puede tener una superficie desde 35m² hasta 860m² (planta completa), complementadas con amplios espacios comunes.

En el 7º piso se ha previsto un restaurante con acceso desde un ascensor exterior panorámico independiente de las circulaciones internas y terrazas técnicas para equipos de acondicionamiento y generación de energía limpia.

La propuesta arquitectónica está basada en un sistema constructivo en acero, totalmente innovador en la provincia, para un edificio de esta envergadura. Con una envolvente en piel de vidrio, carpinterías curtain wall con vidrios dobles, panelería de aluminio compuesto, acero inoxidable combinados con materiales cálidos como el ladrillo visto bostoniano y revestimientos en madera. Los pasillos cuentan

con un generoso ancho de 2,50m, sistema de climatización Heat Pumper y sistema de cámaras CCTV para la seguridad de todo el edificio.

El edificio está desarrollado íntegramente con estructura de acero y entrepisos mixtos (steel deck) soportados por vigas metálicas alivianadas (alveolares). Por la morfología de la planta es un solo bloque prismático.

El sistema estructural sismorresistente contempla estrategias con sistemas de protección sísmica mediante dispositivos de disipación sísmica.

En la dirección Norte – Sur se diseñaron pórticos sismorresistentes no arriostrados (PSNA) con vigas de sección reducida (dog bone) para predecir la posición de rótula plástica por flexión y el comportamiento de sobrerresistencia hacia la conexión con la columna. Complementariamente se ha dispuesto una conexión precalificada del tipo EP4B (Extended Plate 4 bulones) que contempla una placa extrema con 4 bulones por extremo las que se diseñan con hipótesis de diseño por capacidad.

En dirección Este – Oeste se diseñaron pórticos sismorresistentes arriostrados excéntricos (PSAE) con enlaces de conexión de sección reducida trabajando como

elementos “fusibles” donde se concentra la disipación de energía. Estos dispositivos clasifican como disipadores pasivos hysteréticos por fluencia del metal. El “fusible” permite ubicar la posición de rótula plástica por corte y predecir el comportamiento de sobrerresistencia hacia la conexión con la viga fuera del enlace. Complementariamente se ha dispuesto también una conexión precalificada del tipo EP4B (Extended Plate 4 bulones) que prevé una placa extrema con 4 bulones por extremo las que se diseñan con hipótesis de diseño por capacidad y permiten su eventual reemplazo.

DATOS TÉCNICOS

- Superficie total: 19.000 m²
- Proyecto arquitectónico: BYK arquitectos. Arq. Pablo Belinsky y asociados
- Proyecto estructural: 3D Ingeniería SA. Ings. Daniel Quiroga, Carlos Frau y asociados
- Construcción: Stornini Construcciones, Ings Mauricio y Fernando Stornini (obra civil); IMISA (obra metálica). Ing Diego Alfei





**LOSA SOBRE
SUBSUELO:
ENTREPISO SIN VIGAS.
COLUMNAS CON
CAPITEL**

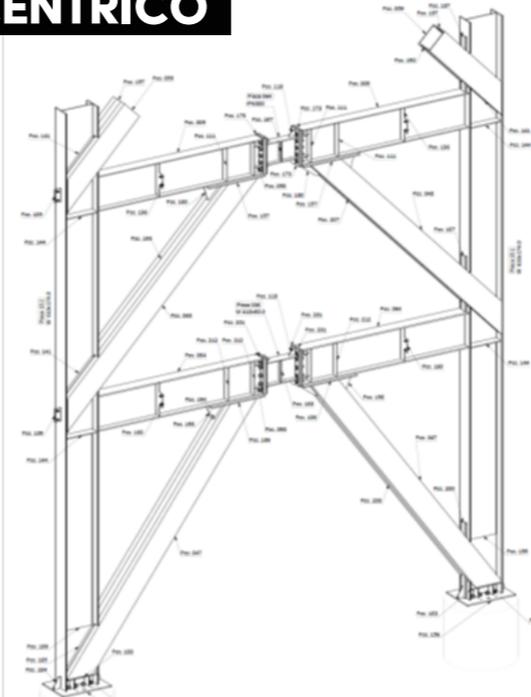


**FACHADA ESTE. MONTAJE DE
PÓRTICOS DE ACERO**

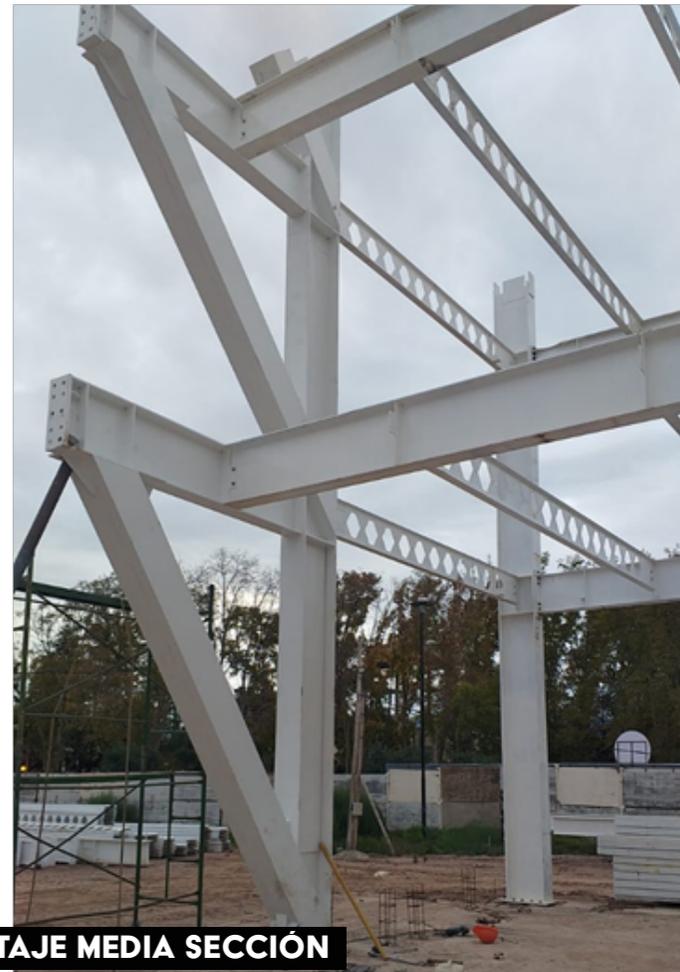


**VIGA SECCIÓN
REDUCIDA (DOG
BONE) PARA LOS
PÓRTICOS NO
ARRIOSTRADOS**

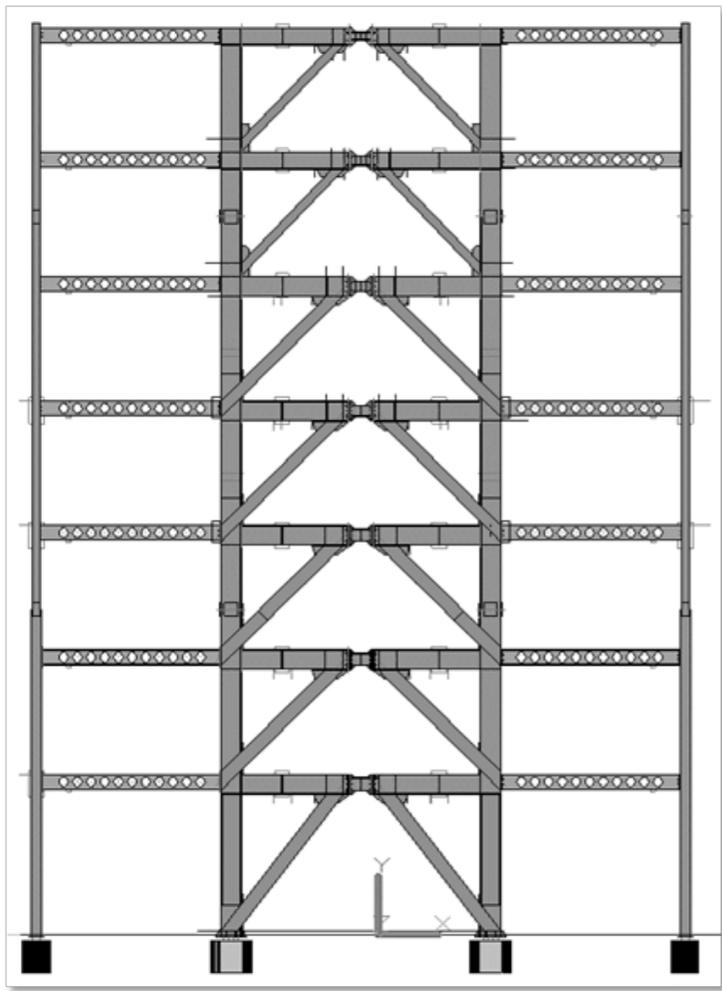
**PÓRTICO ARRIOSTRADO
EXCÉNTRICO**



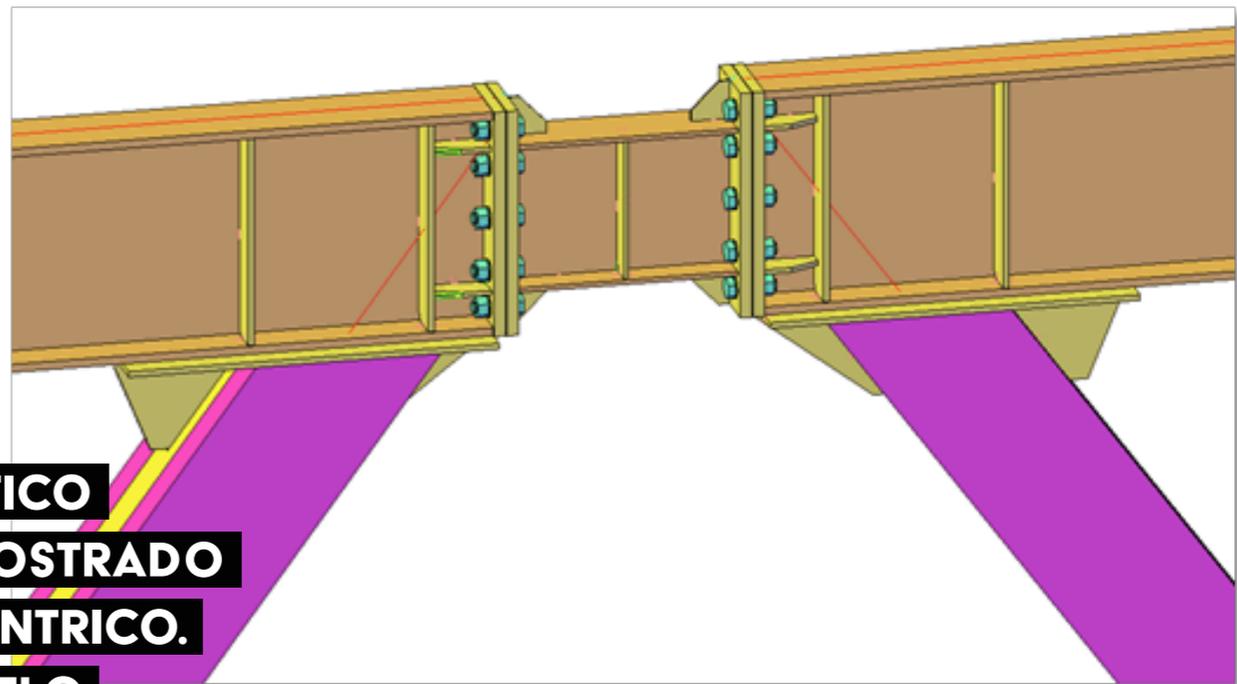
MODELO BIM



MONTAJE MEDIA SECCIÓN



**PÓRTICO
ARRIOSTRADO
EXCÉNTRICO.
MODELO BIM**



**PÓRTICO
ARRIOSTRADO
EXCÉNTRICO.
MODELO
BIM DETALLE
ENLACE
ABULONADO**

EDIFICIO DEL INSTITUTO DE HISTOLOGÍA Y EMBRIOLOGÍA DE MENDOZA (IHEM, CONICET-UNCUYO)

Este edificio está destinado a la actividad científica para el Instituto de Histología y Embriología de Mendoza (IHEM) de la Universidad Nacional de Cuyo y se inició en mayo de 2012. Cuenta con 6700 m² distribuidos en 4 plantas libres con divisiones internas de muros de roca de yeso y una planta en subsuelo de cocheras.

Tanto las fachadas norte y sur como así también la cubierta, están compuestas por termopaneles, garantizando una excelente aislación térmica y durabilidad. Las ventanas son de doble vidriado hermético.

El edificio cuenta con sectores de distintos niveles de bioseguridad, para reducir al mínimo el riesgo de exposición al trabajador o del medio ambiente. Cuenta con control de acceso, vestíbulos con una zona para separar la ropa limpia de la sucia y duchas, controles atmosféricos, muros con placas de plomo, entre otros.

Las atmósferas se encuentran controladas según las necesidades específicas de cada local, mediante el manejo de las presiones de aire y aportes de aire filtrado. Asimismo, tiene un sistema de calefacción, ventilación y aire

acondicionado.

Además de las instalaciones básicas de cualquier edificio, en el IHEM se dispuso instalación de dióxido de carbono, luz ultravioleta, circuito cerrado de agua, aire comprimido, nitrógeno y grupo electrógeno.

Las características del edificio están pensadas tanto para preservar su estructura como también la integridad de las personas y del equipamiento minimizando las vibraciones, permitiendo el adecuado funcionamiento de los microscopios electrónicos.

La estructura está resuelta con muros de hormigón armado visto, fundaciones y losas de planta baja, también en hormigón armado. Las plantas superiores son entresijos mixtos (steel deck), y cubierta superior metálica.

La estrategia de diseño ha sido utilizar sistemas de protección sísmica mediante aisladores de neopreno y péndulos de fricción que despegan a la estructura de las fundaciones modificando sus propiedades dinámicas y disminuyendo las acciones sobre la estructura principal que pudieran derivar de un terremoto.

DATOS TÉCNICOS:

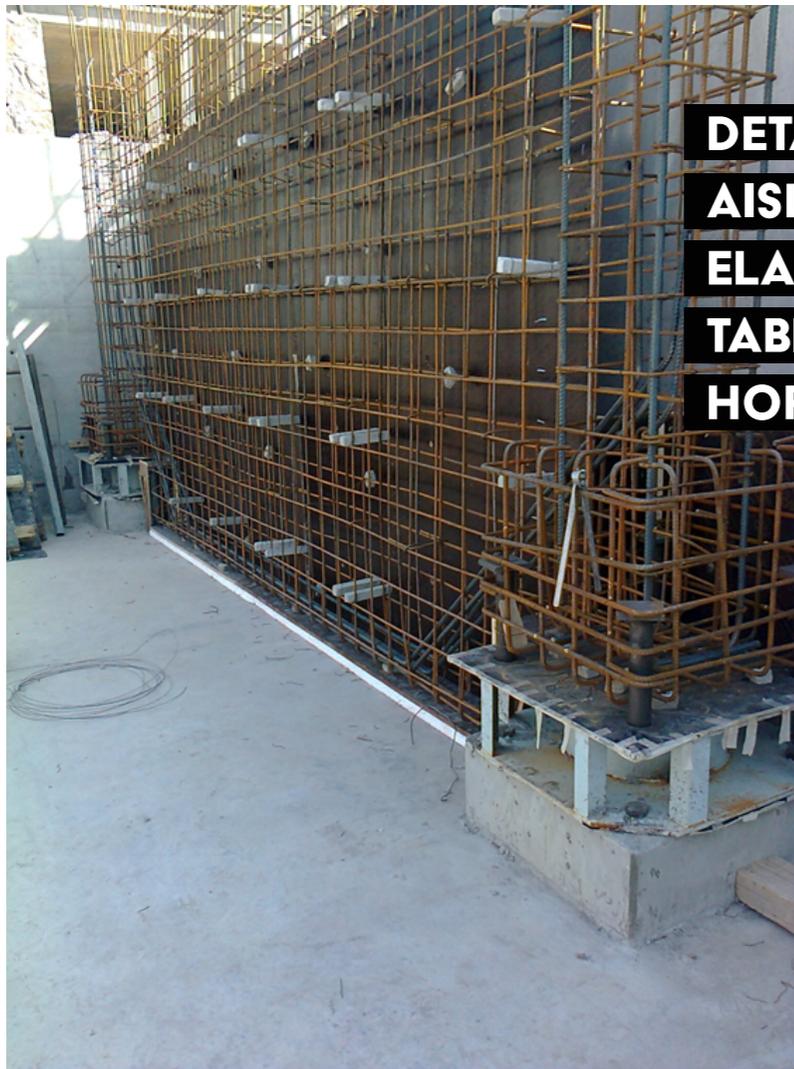
Superficie total: 6700 m²

Proyecto arquitectónico: Furtado Isgró arquitectos

Proyecto estructural: Ing. Agustín Reboredo

Construcción: Santiago Monteverdi





**DETALLE CONEXIÓN
AISLADOR
ELASTOMÉRICO-
TABIQUE DE
HORMIGÓN ARMADO**



**AISLADOR
ELASTOMÉRICO.
POSICIONADO
INFERIOR**



**AISLADOR
ELASTOMÉRICO.
POSICIONADO
INFERIOR**

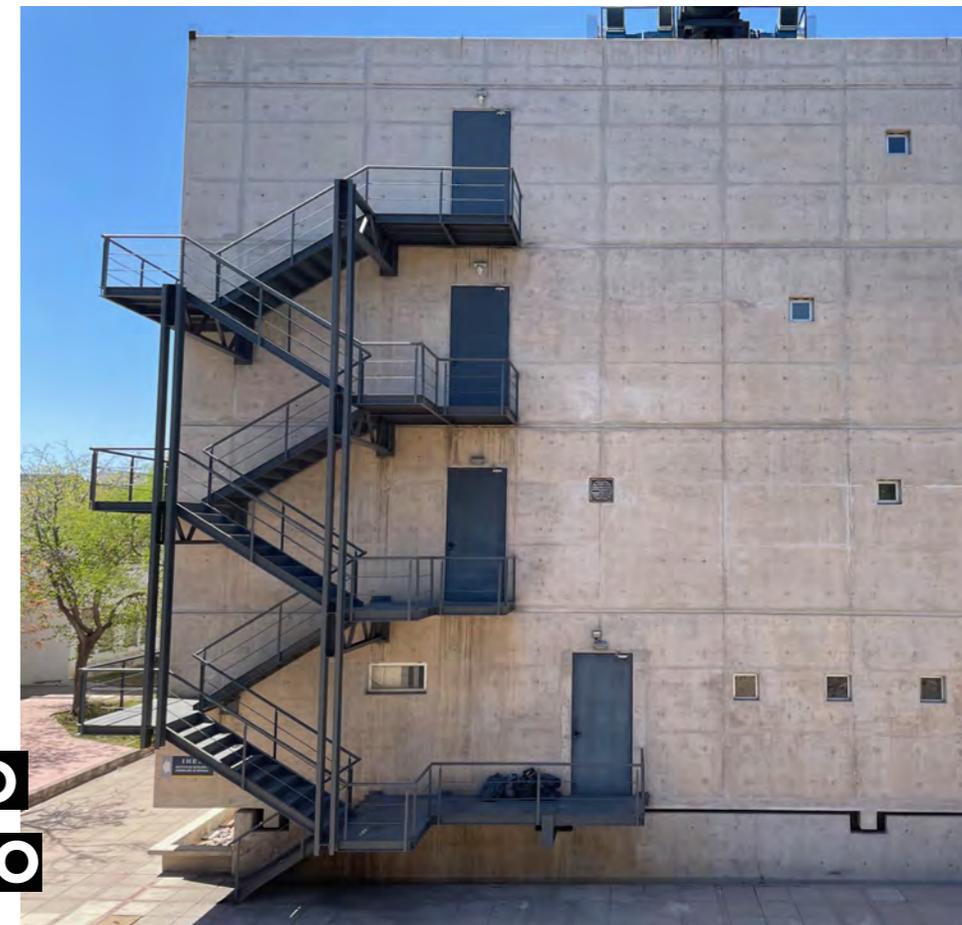
**AISLADOR TIPO
PÉNDULO DE
FRICCIÓN**





**AISLADOR
ELASTOMÉRICO.
POSICIONADO
SUPERIOR
SOBRE BAJO
COLUMNAS**

**FACHADA OESTE.
ESCALERA DE
EMERGENCIA
DESVINCULADA
DEL PISO PARA
PERMITIR EL
DESPLAZAMIENTO
LIBRE DEL EDIFICIO**



DETALLE:

SEPARACION PARA

PERMITIR LOS

MOVIMIENTOS

HORIZONTALES

DEL EDIFICIO.

TOPE DE

SEGURIDAD CON

ESPACIO PARA

DESPLAZAMIENTO

LIBRE



DETALLE:

SEPARACION PARA

PERMITIR LOS

MOVIMIENTOS

HORIZONTALES DEL

EDIFICIO.

EN LA FACHADA SUR

SE HA CUBIERTO LA

JUNTA EN TODA SU

LONGITUD



EDIFICIO MANANTIALES

Eduardo Rodríguez Cimino

DATOS TÉCNICOS

Autor: Luis Izquierdo W., Antonia Lehmann S.B., Raimundo Lira V., José Domingo Peñafiel E.

Colaboradores: Miguel Villegas G.

Calculista: Luis Soler P. y Asociados

Construcción: Sigro S.A.

Ubicación: Isidora Goyenechea 3120, Las Condes, Santiago de Chile

Superficie edificada: 9.535,80 m² + 7.007 m² subterráneos

Año: 1997-1999



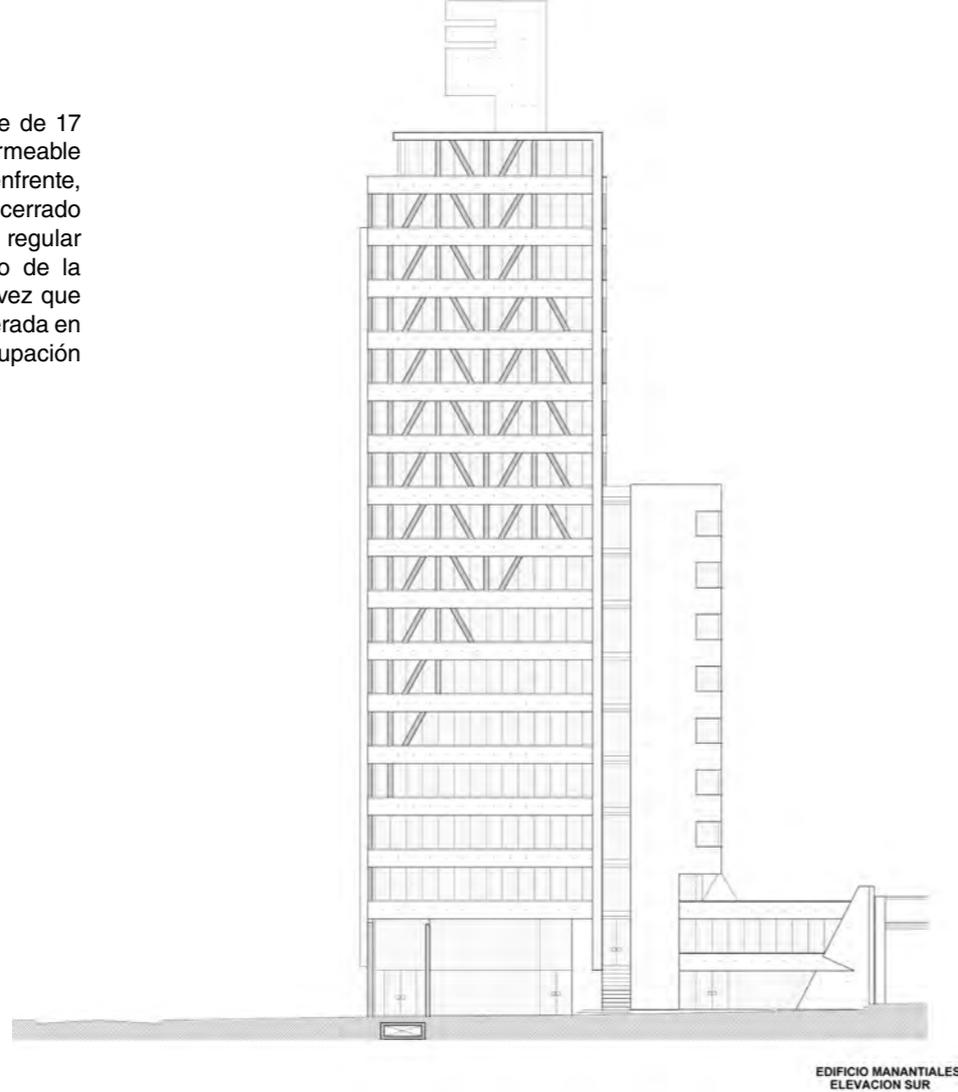
De la arquitectura:

El barrio de Las Condes en Santiago de Chile, ha experimentado en las últimas décadas un proceso de densificación en altura abrupto y desordenado, poblándose de edificios entre 7 y 20 pisos, de alto valor económico, llegando a ser la zona más costosa de Santiago.

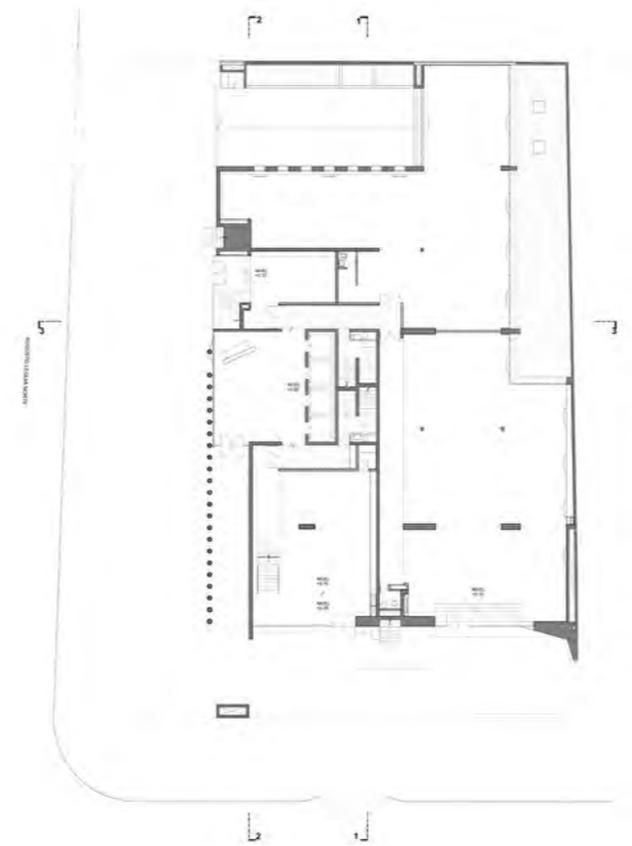
El programa del proyecto se estableció en función de esta condición, requiriendo el máximo aprovechamiento de superficie de oficinas de planta libre, estacionamientos subterráneos y un mínimo de superficie de servicio.



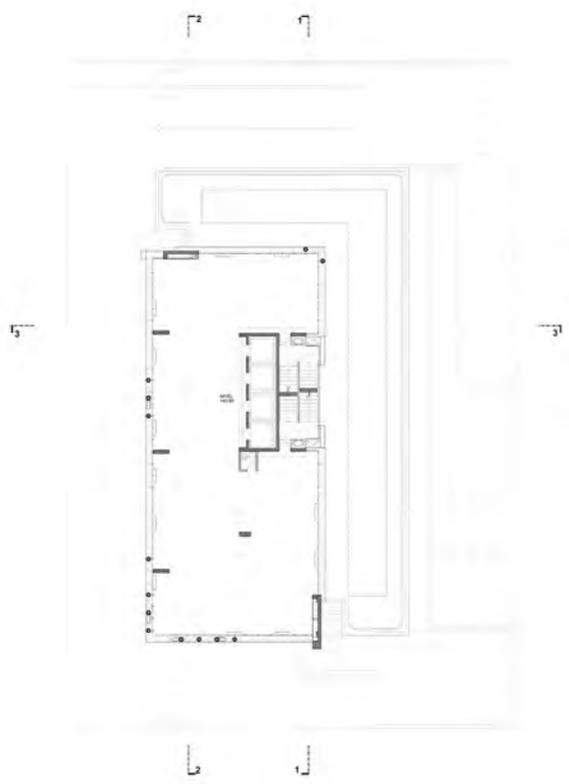
El proyecto se compone de una torre de 17 pisos con forma de prisma regular, permeable y abierto hacia la plaza que se ubica enfrente, rodeado por otro volumen más bajo y cerrado de 10 pisos de altura. La forma regular permitió un óptimo aprovechamiento de la distribución interior de oficinas, a la vez que unifica la disparidad volumétrica generada en el barrio por la mala regulación de ocupación del suelo.



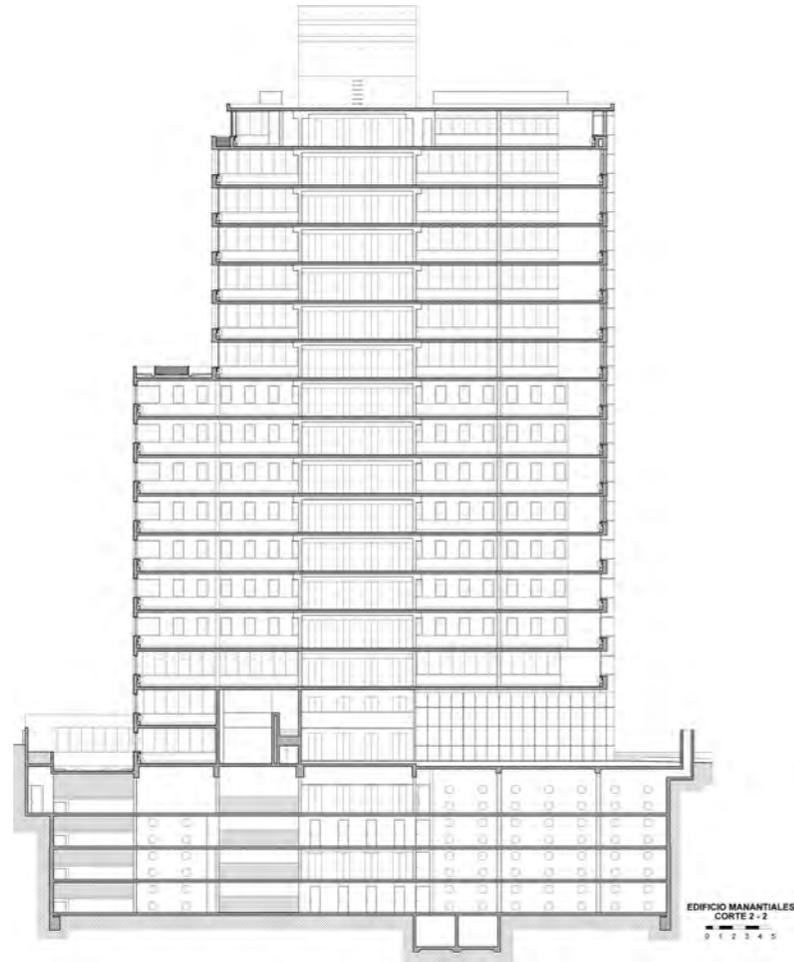
EDIFICIO MANANTIALES
ELEVACION SUR



Edificio Manantiales
Primer Piso



Edificio Manantiales
10° Piso



Por debajo del edificio se ubican 4 subsuelos de estacionamiento con capacidad para 252 vehículos, depósito y espacios de servicio.

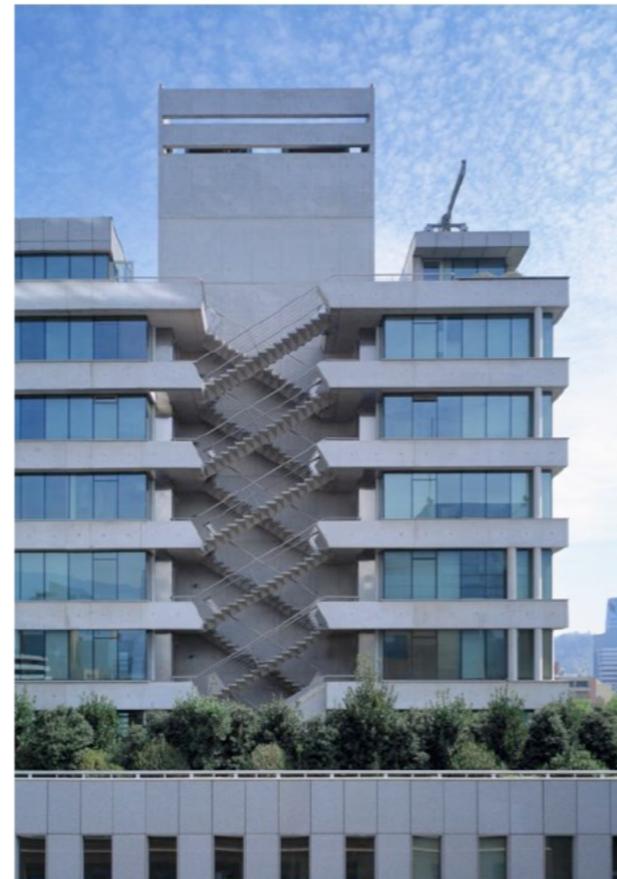
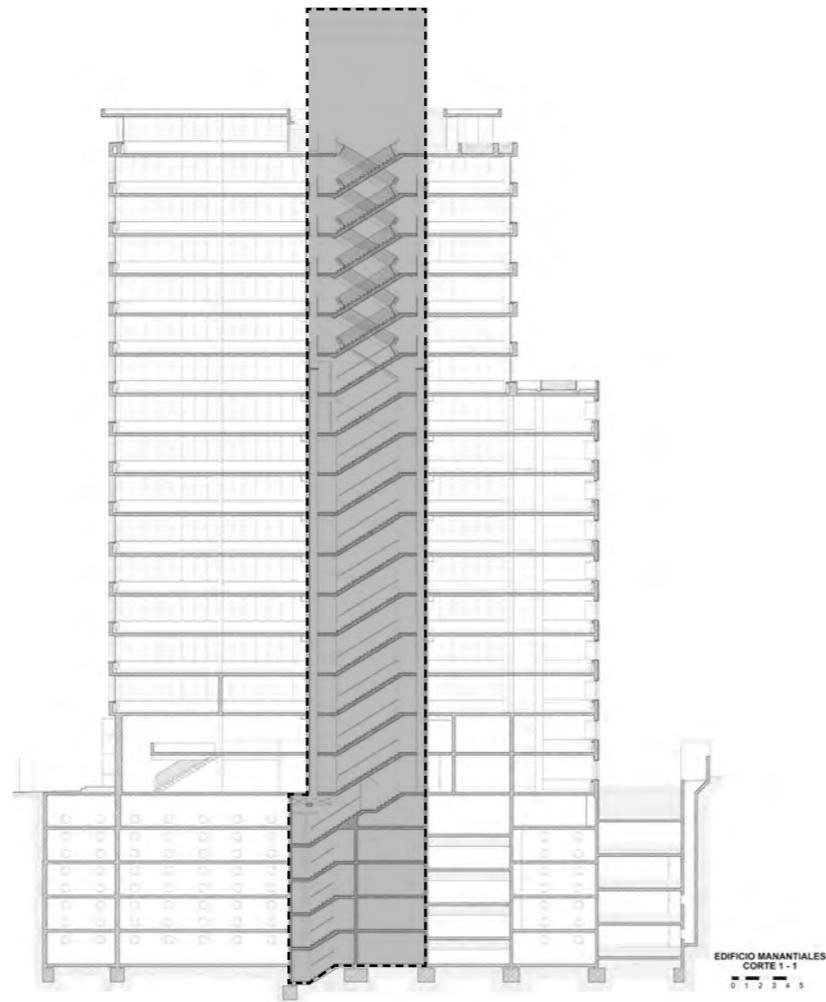


De la estructura:

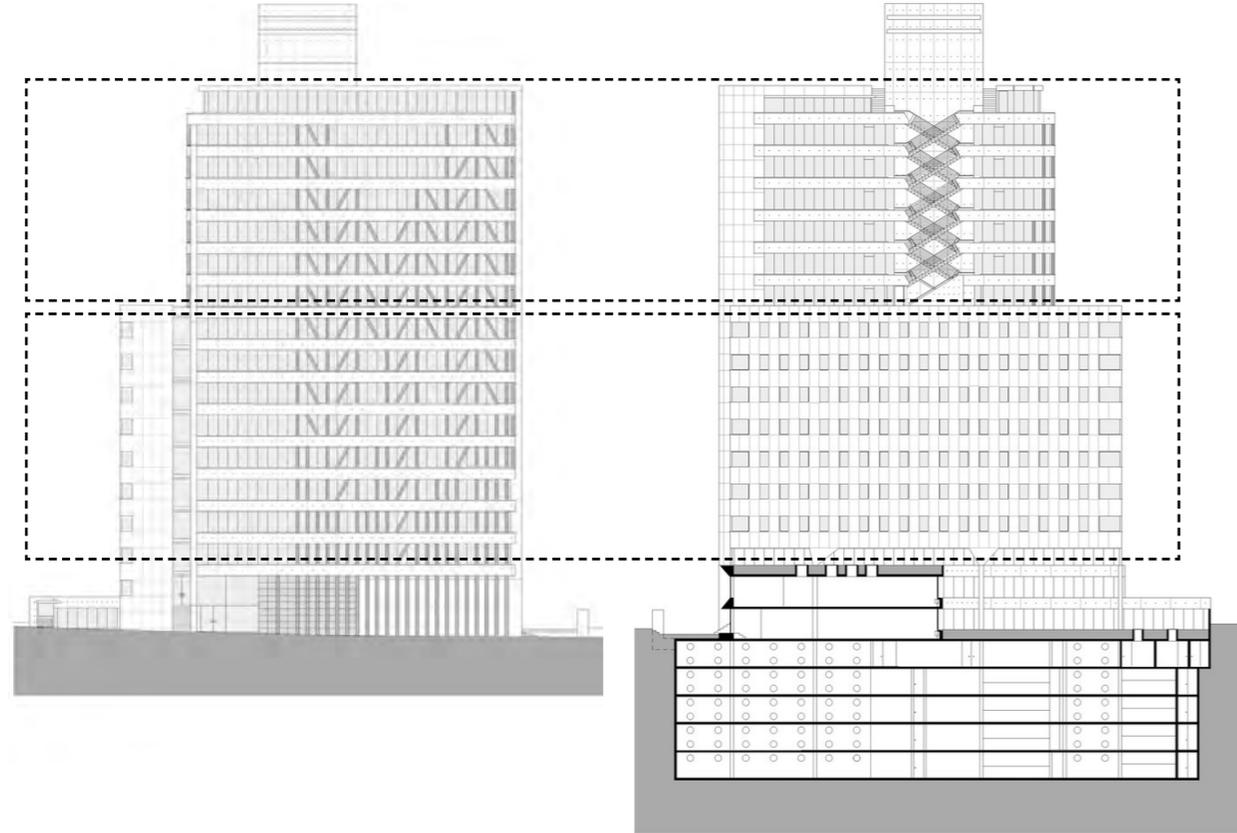
La estructura es de hormigón armado, a la vista en vigas y columnas, mientras que los muros se revistieron en granito gris.

En el centro de la planta baja se ubicó el núcleo de circulación vertical, quedando sobre la fachada interior en los últimos niveles del volumen más alto.

Para reducir la altura interior de cada nivel y permitir un mayor número de pisos, se utilizaron losas postensadas sin vigas interiores, apoyándose la misma en su perímetro, el núcleo central y solo 4 columnas, consiguiendo así una gran flexibilidad del espacio interior.



La viga perimetral se ubica de manera invertida, conformando un antepecho junto al cual se ubican los ductos de climatización y electricidad. Esta viga se apoya sobre pilares cilíndricos que mantienen su sección en toda la altura del edificio y aumentan su cantidad según la magnitud de la carga gravitatoria. Estos elementos conforman una fachada y plano resistente vertical con un diseño centrado en la expresividad de la estructura, colocada por fuera del cerramiento.



Desde el punto de vista del comportamiento sísmico, la gran rigidez de los muros perforados del volumen bajo, contrasta con la fachada opuesta abierta hacia la calle, donde se ubica un pórtico más flexible, conformada por las vigas invertidas y pilares circulares. Esto produce distanciamiento entre los centros de rigidez y gravedad de las plantas y en consecuencia la aparición de un momento torsor que se produciría ante la acción sísmica.

Este efecto se neutralizó con la incorporación de una retícula variable de diagonales sobre el pórtico que compensa las rigideces del edificio. Según sus autores “el diseño de las fachadas de la torre corresponde a la eculización de las rigideces de un volumen asimétrico, realizado mediante un proceso interactivo con el cálculo estructural”. Es así como en los primeros niveles la cantidad de pilares y diagonales del pórtico es mayor, equilibrando la rigidez de la fachada opuesta, mientras que en los niveles superiores, en donde el volumen bajo desaparece, el pórtico reduce la cantidad de estos elementos



VIVIENDAS RUCA

Eduardo Rodríguez Cimino

DATOS TÉCNICOS

Autor: Cristián Undurraga

Director Ejecutivo: Pablo López

Colaboradores: Undurraga Deves Arquitectos, Raimundo Salgado

Consultores: José Jiménez, Rafael Gatica (estructura)

Contratista: EBCO Constructora

Fotos: Guy Wenborne, Pilar Undurraga, Roberto Sáez

Superficie: 1538 m²

Ubicación: La Pincoya, Huechuraba, Santiago, Chile.

Año: 2011



De la arquitectura:

El proyecto consiste en un conjunto de 25 viviendas sociales destinadas a albergar una comunidad Mapuche en la periferia norte de la ciudad de Santiago de Chile, financiadas por el Fondo Solidario de vivienda del Ministerio de Vivienda y Urbanismo y con la participación de la organización "Un techo para Chile" y la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena.

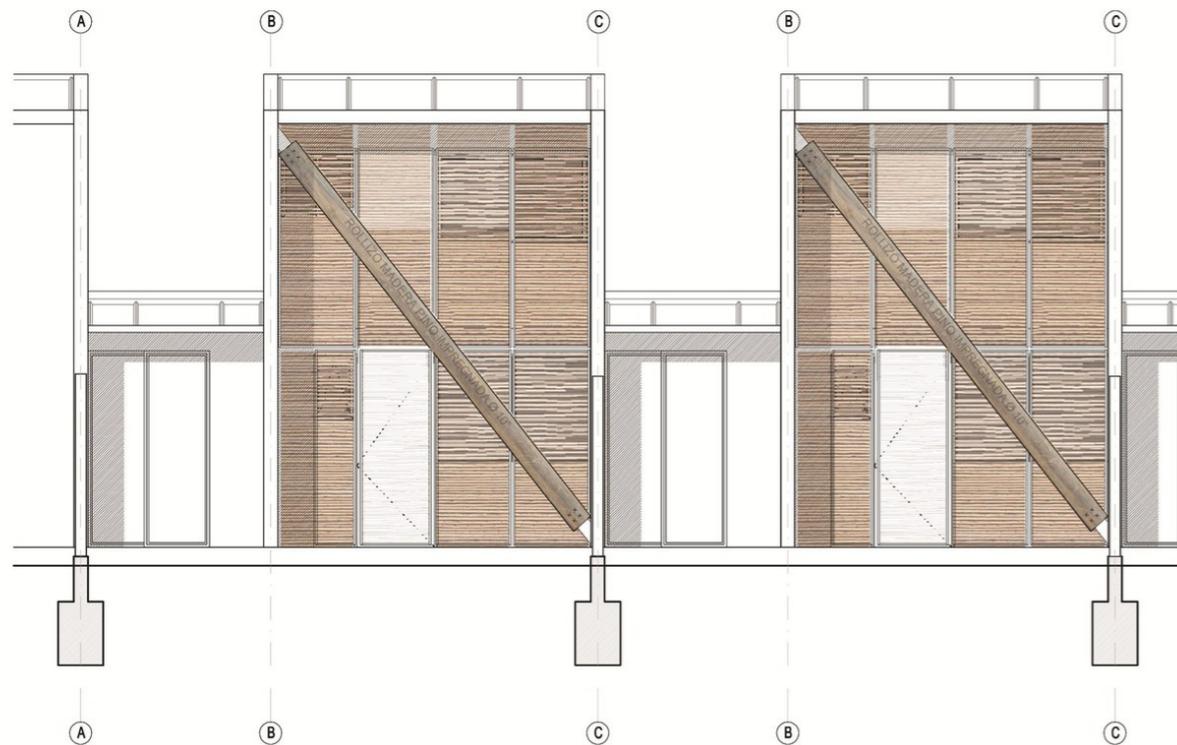


La comunidad Mapuche forma parte de una minoría étnica representante de los pueblos originarios de América del Sur, quienes desde tiempos de la conquista han sido desplazados y obligados a ocupar tierras alejadas, de mala calidad o escaso valor. En busca de un mejor destino, muchos de ellos deciden migrar a la ciudad cuyo entorno les ha sido hostil. Este proyecto surge para cubrir la necesidad habitacional de una pequeña comunidad que pretende participar de la sociedad moderna, pero sin que ello signifique renunciar a sus tradiciones y creencias ancestrales.

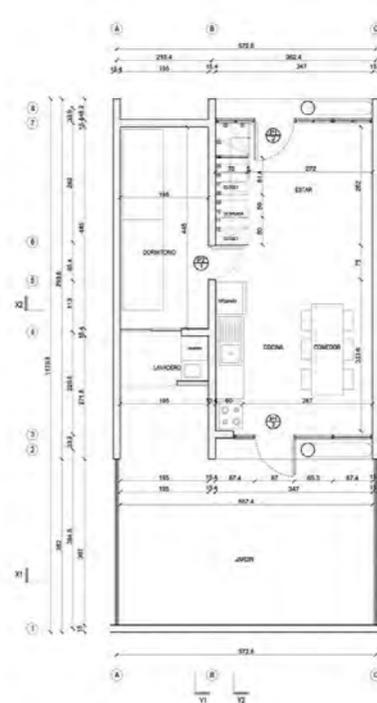
Ubicadas al pie de un cerro, tenían como requisito que la puerta principal de todas las viviendas abriese hacia el sol naciente, según la tradición de la comunidad. Por este motivo se optó por una agrupación continua longitudinalmente sobre una cota horizontal, dejando entre las viviendas y el cerro un espacio común.



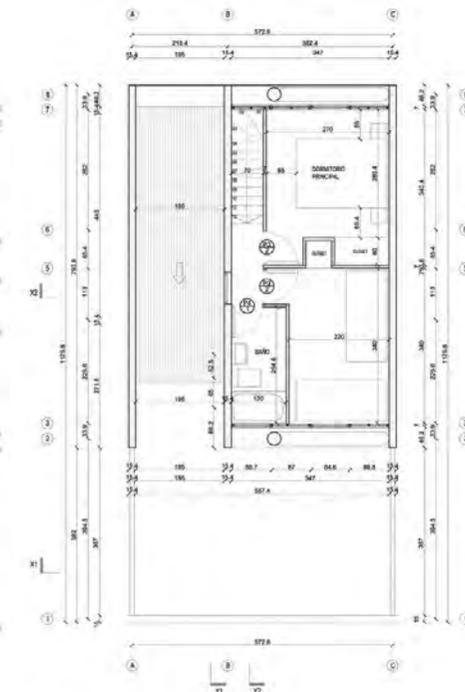
La imagen y los materiales buscan emular el concepto de "ruka" (casa), construcción tradicional Mapuche que consiste en un espacio transitorio conformado por estructuras ligeras de ramas y troncos.



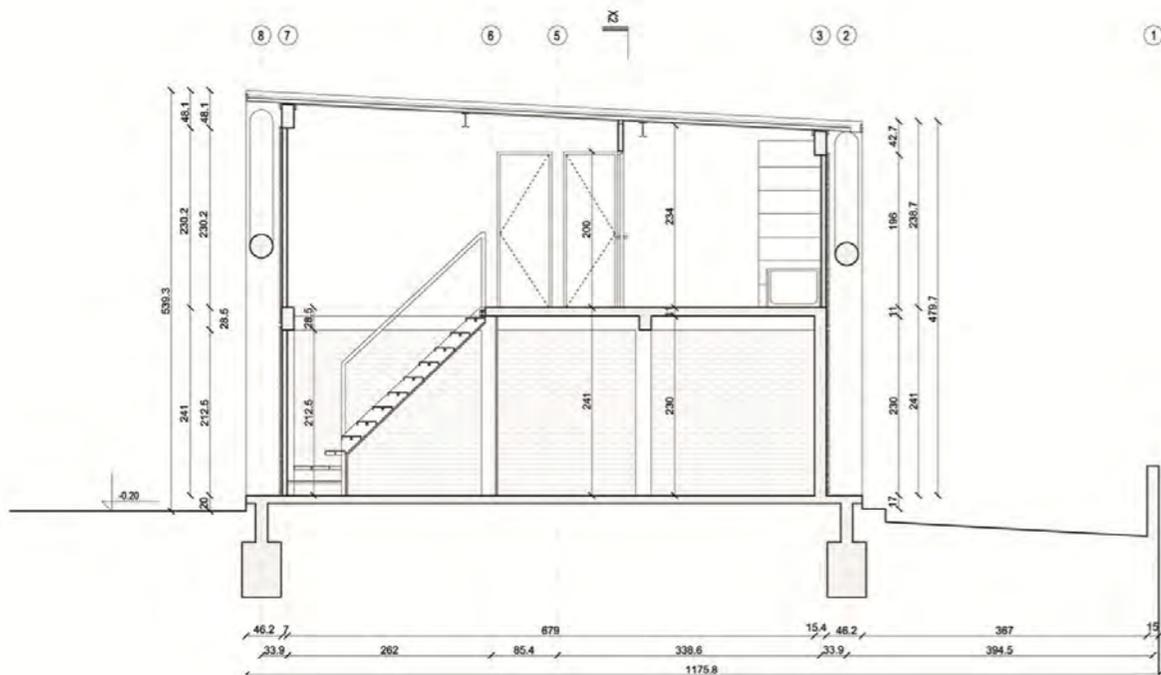
Cada unidad consta de 61 m² desarrollados en dos plantas. La cocina se ubica como espacio principal de la planta baja, acorde a la importancia del “fogón” en la tradición Mapuche, mientras que la planta alta cuenta con dos dormitorios y un baño.



CASA TIPO
PLANTA NIVEL 1 esc 1/50



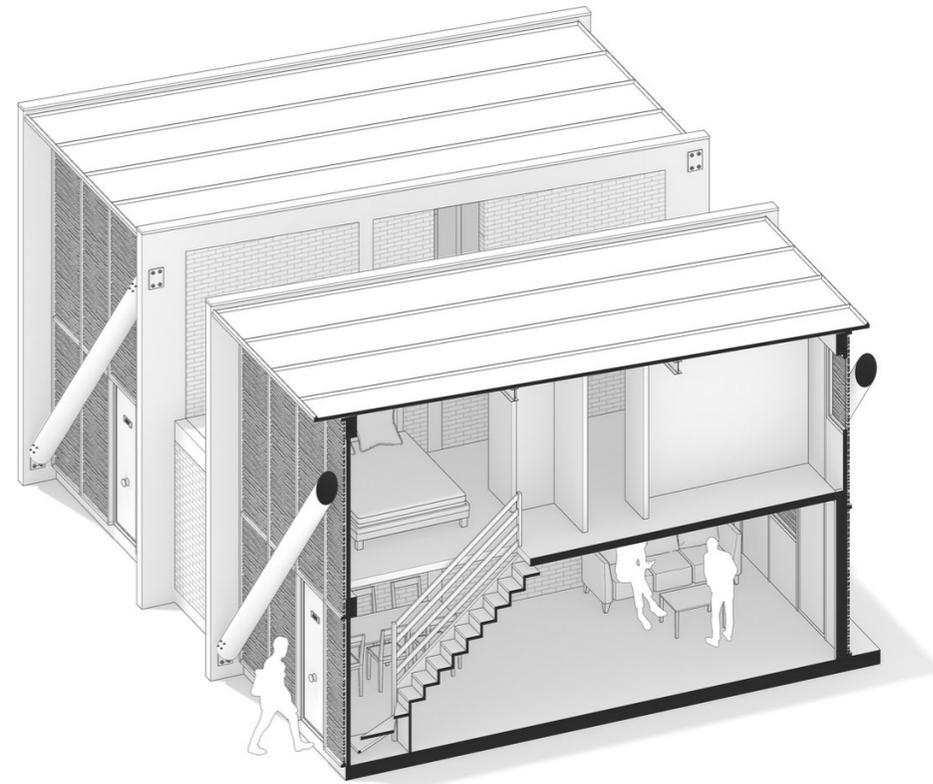
CASA TIPO CON AMPLIACION
PLANTA NIVEL 2 esc 1/50

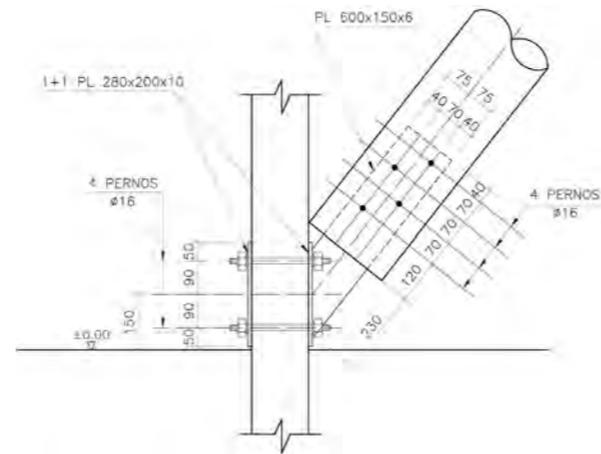


Corte Y2

De la estructura:

La estructura está compuesta por muros de mampostería sismorresistente ubicados en las divisiones medianeras entre las distintas unidades, que soportan losas macizas de hormigón armado. Dado que todos los muros portantes son paralelos, para lograr estabilidad ante movimientos sísmicos se necesitó incorporar un arriostramiento transversal a ellos, en el plano de fachada, que debía permanecer abierto hacia el sol naciente. Esto se resolvió mediante una diagonal de rollizo de madera de pino impregnado de 10" de diámetro, que caracteriza la fachada principal y permite la estabilidad lateral del conjunto.





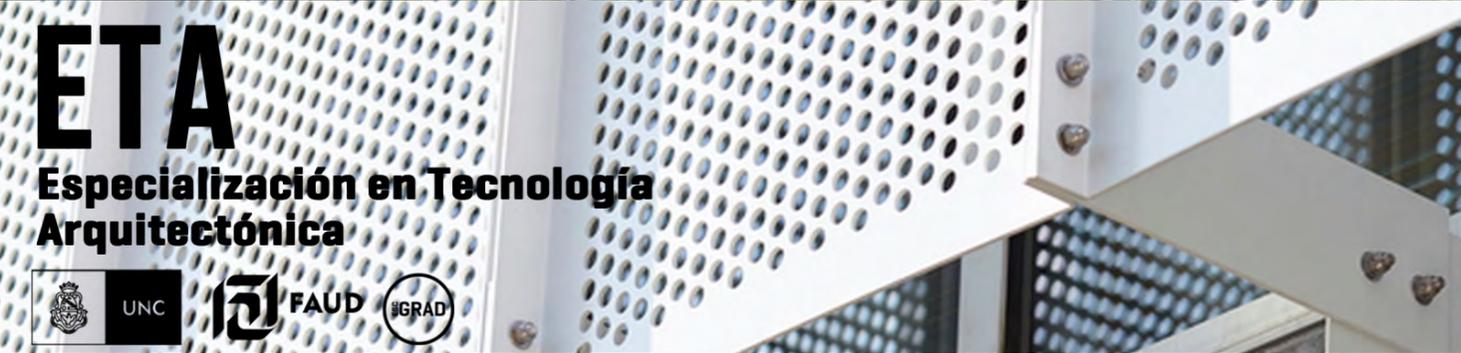
La diagonal de madera se complementa con una doble piel de caña de coligüe como filtro solar, logrando la imagen tradicional de Ruka y su ambiente interior de penumbra característico.



EPDP

**Especialización en Planificación y
Diseño del Paisaje**



ETA

**Especialización en Tecnología
Arquitectónica**



EDIEST

**Especialización en Diseño Estructural
de Obras de Arquitectura**



MGADU

**Maestría en Gestión Ambiental
del Desarrollo Urbano**



MU

**Maestría en
Urbanismo**



MGDH

**Maestría en Gestión y
Desarrollo Habitacional**



CONCURSO DE MODELOS ESTRUCTURALES DE FIDEOS DE SEMOLA "HUGO BONAIUTTI"

Segunda edición

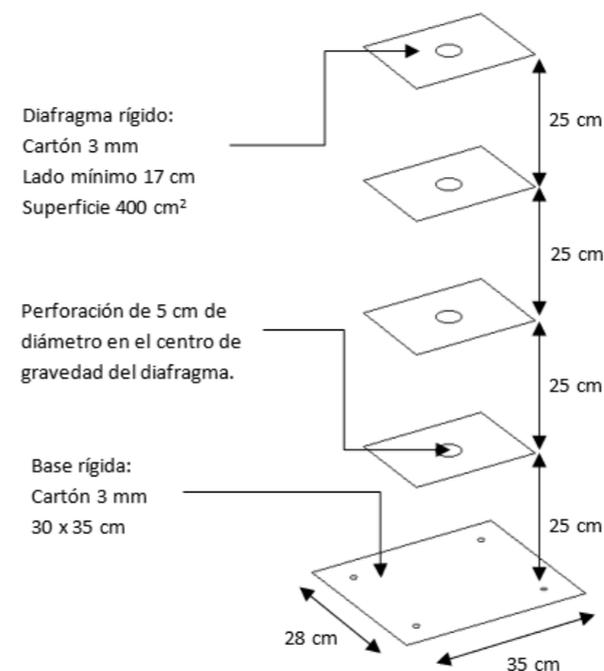
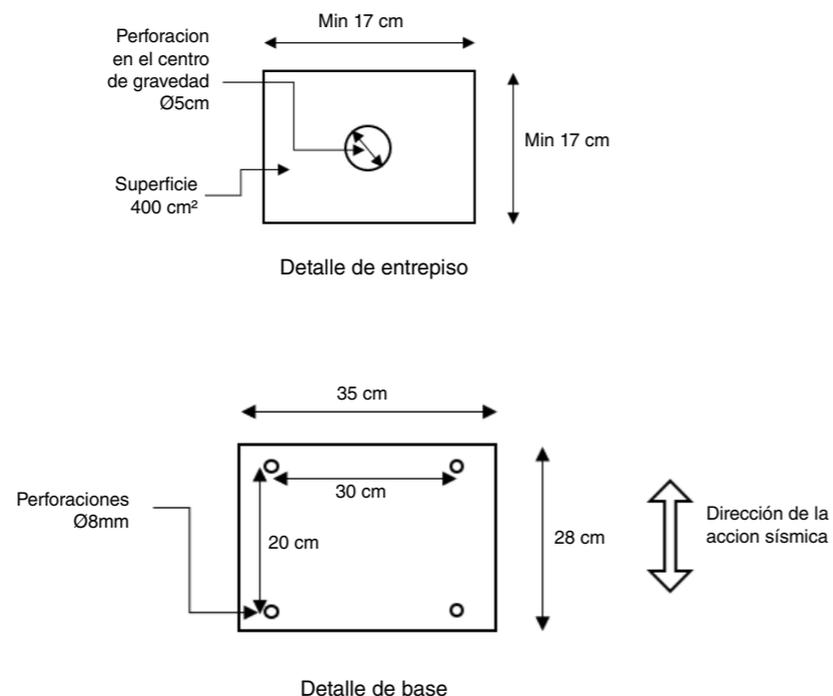
Leonel Ghiglione



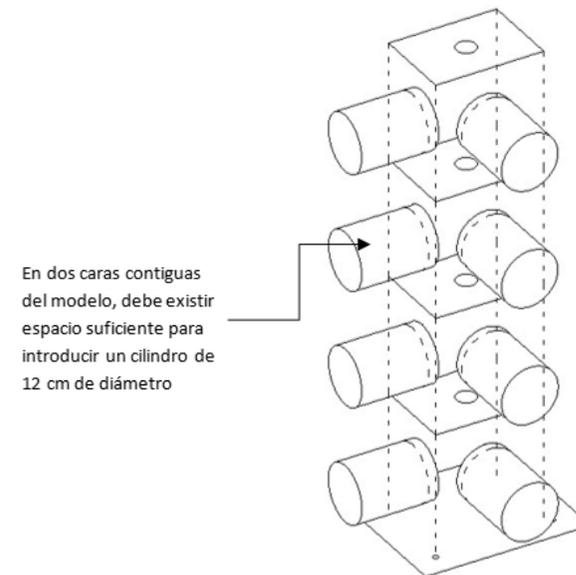
En el marco del Congreso Regional de Tecnología en Arquitectura CRETA XIII, llevado a cabo los días 9, 10 y 11 de agosto de 2023, en la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, se realizó la segunda edición del concurso de modelos estructurales de fideos de sémola "HUGO BONAIUTTI"; en memoria de quien fuera Decano y Profesor Titular de la cátedra de Estructuras III de dicha casa de estudios.

El concurso consistió en la elaboración de un modelo estructural de 4 pisos, utilizando como material fideos secos de sémola tipo "bocattini"; para los planos verticales, y cartón para la base y planos horizontales, para luego someterlos a acciones dinámicas horizontales producidas por el movimiento de una mesa vibratoria. Se debía cumplir, además, con una serie de requisitos geométricos orientados a que los participantes deban enfrentarse al problema de la torsión en la estructura.

Cada modelo debía contar con una superficie máxima de 400 cm² por planta y una altura total de 100 cm (25 cm por cada nivel). Para su correcto ensayo, el modelo debía tener como base un rectángulo de cartón de 28 cm x 35 cm, con perforaciones previstas para su fijación mediante anclajes a la mesa vibradora.



Esquema con las dimensiones del modelo



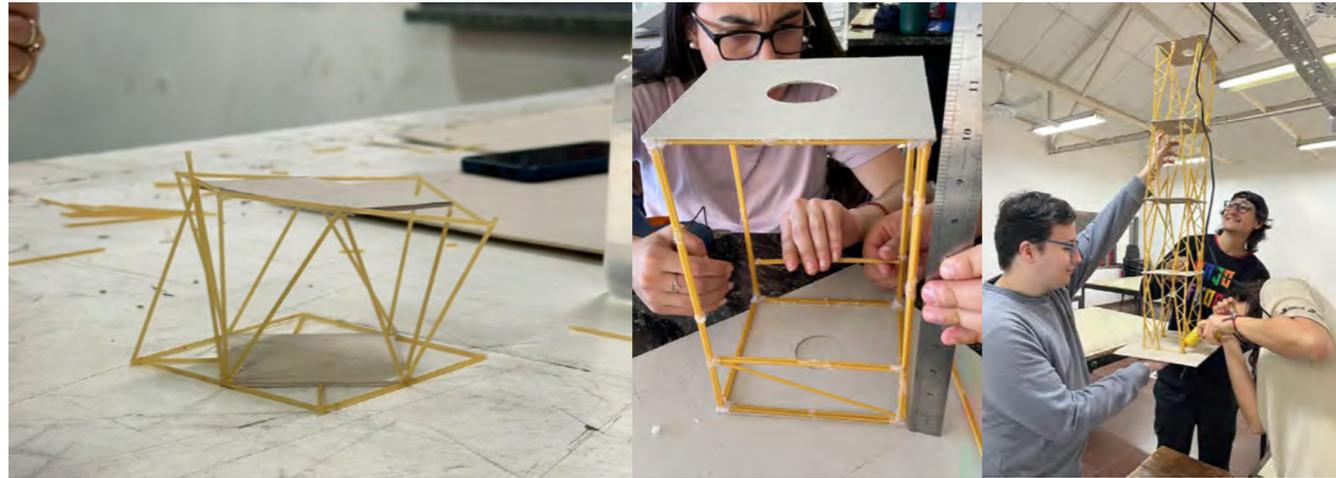
Esquema condición que debe cumplir el diseño de la envolvente

Como dificultad, para la configuración de los planos resistentes verticales, se exigía que pudieran atravesarse dos fachadas contiguas del modelo con un tubo de cartón de 12 cm. Este requisito impedía rigidizar la estructura con cruces de San Andrés de forma simétrica, lo que obligaba al diseño mediante planos verticales más flexibles, para mantener la regularidad en altura, o bien, generar torsiones por excentricidad.

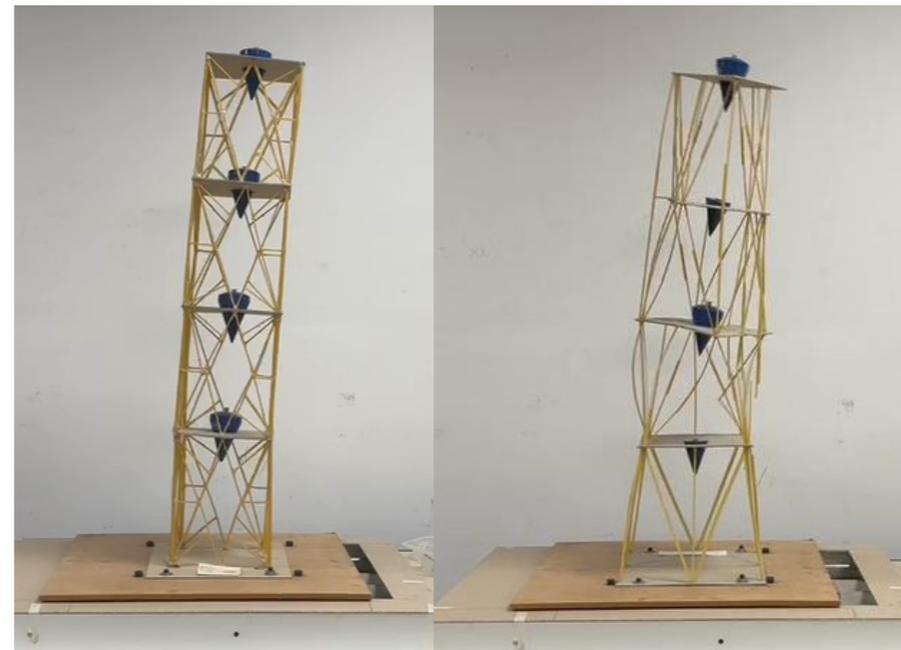


La elaboración de los modelos se realizó en formato Workshop, con la supervisión de docentes de las universidades nacionales de Córdoba y Rosario. Durante dos días de trabajo, 17 equipos conformados por entre 2 a 5 estudiantes de las facultades de arquitectura de las universidades nacionales de Córdoba y Rosario, confeccionaron sus modelos que fueron ensayados al cierre del congreso.





Los ensayos se realizaron sobre una mesa vibratoria con movimiento unidireccional, sobre la cual se fijaron los modelos mediante una base de cartón de 3 mm con perforaciones para la colocación de 4 bulones. La prueba de los modelos consistió en una sucesión de ensayos de 10 segundos cada uno, hasta producirse el colapso. En cada ensayo se fue incrementando la aceleración del movimiento horizontal y las masas de los entresijos, que se materializaron con plomadas ubicadas en el centro de gravedad de los mismos.



Esto permitió un sucesivo aumento de la inercia de los modelos y, por lo tanto, de las acciones horizontales que actuaban sobre ellos. Se utilizaron tres frecuencias, una de mayor longitud y mayor periodo, una intermedia y una de menor longitud y periodo. Con estas tres frecuencias se sometió a las maquetas a 3 ensayos, cada uno de 10 segundos. Superada esta prueba se incrementaba la masa por nivel. El primer ensayo se realizaba con 500 grs. por nivel, el siguiente con dos niveles con 1000 grs. y dos con 500 grs. y el último con cargas de 1000 grs. en todos los niveles.

La calificación final de cada modelo ponderaba distintos factores como la eficiencia estructural, en relación a la cantidad de ensayos superados y el peso del modelo, cumplimiento de las medidas y pesos máximos de la maqueta que eran requisitos en las bases del concurso, y la calidad del diseño morfológico evaluada mediante una votación entre los propios concursantes. La participación de los estudiantes permitió promover la aplicación práctica experimental de los conocimientos teóricos que reciben en sus respectivos estudios de grado, identificando fenómenos particulares del comportamiento de las estructuras sometidas a acciones sísmicas.



DEUR

Doctorado en Estudios
Urbano-Regionales



DOCTA

Doctorado en
Arquitectura



MDAU

Maestría en Diseño Arquitectónico
y Urbano



DIMU

Especialización en
Diseño de Muebles



CESEAD

Especialización en Enseñanza Universitaria
de la Arquitectura y el Diseño



MÓDULOS - CURSOS

<http://faud.unc.edu.ar/cursos-de-posgrado-2/>





“

EL ARQUITECTO

“La arquitectura es un oficio artístico, aunque al mismo tiempo también es un oficio científico; éste es justamente su hecho distintivo.”

Arq, Renzo Piano

Considero que el Arquitecto debe poder desarrollar dos competencias esenciales:

Primero la capacidad de crear, que representa la posibilidad de “construir” sobre la base de la búsqueda interior estimulada con conocimientos intuitivos y adquiridos.

Segundo, la aptitud para la concreción científico-técnica.

Ambos aspectos son indisolubles y constituyen una totalidad conceptual, es decir, que en el hecho arquitectónico intervienen múltiples variables desde la concepción de la obra y éstas se interrelacionan en todo el proceso de diseño. En definitiva, como expresa el Arq, Jean Nouvel: “La arquitectura es el arte donde la ciencia y la técnica se funden con la emoción y la creatividad.”

El profesional, también, debe poder responder a la sociedad que le exige respuestas con respecto a la viabilidad de la obra en el aquí y ahora, en un entorno ambiental, socio-económico y productivo determinado, sin descuidar nunca el sujeto, último fin de sus creaciones, ya que como dice el Arq, Kjetil Trædal Thorsen “La arquitectura, a diferencia del arte, no puede existir sin personas.” Partiendo de lo expresado, al Arquitecto se le requieren capacidades intelectuales en campos del conocimiento muy diversos. No sólo debe aprehenderlos sino, además, integrarlos, ya que el hecho arquitectónico es único e indivisible.

Este es el desafío en el cual estamos inmersos.

Arq, Isolda Simonetti

estructuras

”