

DAÑO SÍSMICO EN ASCENSORES

RUBEN BOROSCHEK K.
PABLO MATA A.

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Chile

INTRODUCCION

Durante un evento sísmico, las deformaciones y aceleraciones de un edificio afectan de forma importante al sistema de transporte vertical. Si no se considera el sismo en su diseño se pueden esperar daños, pérdidas de servicio y un aumento en el riesgo al que se ven expuestos los ocupantes de la estructura.

En el país las consideraciones sísmicas para edificios y sus componentes se establecen en la Norma Chilena para el Diseño Sísmico de Edificios, NCh 433 Of 96. Con respecto a los sistemas de ascensores esta norma sólo hace referencias generales, produciéndose un vacío en torno a recomendaciones específicas de diseño sísmico de estos equipos y su relación con el sistema estructural y otros componentes no estructurales.

Gran parte del esfuerzo del pasado ha estado orientado a lograr un diseño sísmo-resistente del sistema estructural, preocupándose fundamentalmente de la protección de la vida. Una parte considerablemente menor de la investigación en ingeniería estructural ha estado abocada a los componentes no estructurales y a la protección de la inversión y función de las construcciones. Basta con ver los reportes de daños de los terremotos más recientes para darse cuenta que a pesar de que se ha avanzado mucho en el diseño estructural, aún siguen presentándose daños considerables de componentes no estructurales, con las consiguientes pérdidas económicas, en vidas y retrasos en las acciones post-terremoto.

La función que cumplen los ascensores en un edificio es permitir una circulación rápida y expedita, más aún si éste es de altura. En la industria tienen una importancia trascendental, en el traslado vertical de materiales y componentes. Pero donde

El presente trabajo tiene como objetivo entregar una visión de las características y recomendaciones de diseño de sistemas de ascensores del tipo traccionado por cables, ya que son los que presentan el mayor daño durante eventos sísmicos severos.



Dstrucción de una cabina de ascensor por desprendimiento de material al interior del ducto (Ecuador, 1998).

mayor importancia cobran los sistemas de ascensores es en los hospitales y, especialmente, luego de algún tipo de catástrofe, donde se hace urgente el traslado de heridos entre sus servicios.

Hasta antes del terremoto de San Fernando de 1971 (California, EE.UU.), la industria de ascensores en países como Estados Unidos, Japón y Alemania no había puesto suficiente atención en su diseño antisísmico. Un ejemplo de los efectos de los sismos en ascensores se presenta en la fotografía, que muestra lo severo y extenso que pueden ser los daños en estos sistemas.

CARACTERISTICAS DE ASCENSORES DE TRACCION POR CABLES

Un sistema de ascensor del tipo traccionado está compuesto principalmente por una cabina cuyo objetivo es el transporte de pasajeros o carga; una máquina tractora, que proporciona la fuerza para producir el movimiento de la cabina; un sistema de contrapesos, que son masas que viajan en la dirección opuesta a la cabina y cumplen la función de aliviar el trabajo de la máquina tractora; un sistema de cables que conecta a la cabina con la máquina tractora, el cual incluye un sistema regulador de la tensión. (Ver figura 1).

La cabina es conducida, en su ascenso y descenso vertical, por medio de un sistema de rieles guías de la cabina, los que se encuentran adosados a las paredes del ducto de circulación de los ascensores.

La cabina desliza por los rieles guías, por medio de una zapata de seguridad o zapata guía de cabina y un sistema de rodillos. Esta zapata ensambla con los rieles guías por medio de una geometría del tipo macho-hembra, generalmente dejando un espacio entre ambos, para que las vibraciones de la cabina no se transmitan a los rieles. (Ver figuras 1 y 2).

El contrapeso posee un sistema de rieles guía rodante para conducir su recorrido, con sus respectivas zapatas de seguridad o zapatas guías de contrapeso.

Tanto los rieles de cabina como los de contrapeso se conectan al ducto de ascensores por medio de soportes anclados a la estructura. (Ver figuras 1 y 3). Un elemento adicional en el sistema de rieles de contrapeso es el soporte de la guía de rieles. Este cumple la función de apoyar los rieles a distancias apropiadas para impedir grandes desplazamientos. Adicionalmente, los rieles de contrapeso pueden presentar arriostres entre ellos para impedir deformaciones excesivas y para hacerlos trabajar en forma conjunta.

La máquina tractora se encuentra generalmente instalada en el último piso de la estructura, montada sobre un sistema aislador de vibraciones (figura 1). Esta está provista de una polea tractora, que impulsa el cable de suspensión del sistema cabina-contrapesos, de un sistema regulador de velocidad y de un sistema tensor del regulador de velocidad.

Cuando se requiere más de un ascensor ubicado en un mismo ducto, se deben disponer vigas de separación o de distribución entre ascensores, para poder ubicar los rieles de conducción.

FORMAS DE FALLAS OBSERVADAS EN LOS SISTEMAS DE ASCENSORES DURANTE LOS TERREMOTOS

En los ascensores que no se diseñan para soportar cargas sísmicas sólo se consideran solicitaciones en dirección vertical actuando sobre los componentes del ascensor. Entre las cargas principales a considerar por condición de instalación y uso están el peso propio y los procesos de frenaje.

Los ascensores diseñados sin criterio sísmico tienen una alta probabilidad de sufrir fallas que puedan llevarlo a su inutilización. Como se verá a lo largo de este trabajo, aún los sistemas de ascensores con un diseño sísmico, expuestos a cargas sísmicas inusualmente altas o diseñados de acuerdo a normas sísmicas sin actualización, han sufrido fallas de importancia debido a terremotos. (Ver tablas 1 y 2).

Las fallas más frecuentemente observadas se pueden agrupar de la siguiente manera:

1. Fallas de los sistemas de rieles guías y de soportes: Este tipo de falla está aso-

ciada a las cargas impuestas sobre los rieles por las fuerzas sísmicas que actúan sobre el contrapeso y la cabina. Es el tipo de falla más común y dañina en un sistema de ascensores. Esta falla consiste en el doblado, fractura o deflexión excesiva de los rieles, permitiendo el descarrilamiento del sistema de contrapesos o cabina. También se ha visto en forma frecuente la falla de soportes de anclaje de los rieles al ducto de ascensores. Debido a las mismas razones expuestas más arriba, dentro de este tipo de fallas se incluyen los daños sufridos en los sistemas de contrapesos o cabinas: las deformaciones del diafragma de contrapesos, la pérdida de los pesos (vaciamiento), la destrucción de los sistemas rodantes o deslizantes sobre la guía de rieles y fallas en las zapatas de seguridad (del tipo fractura o deformación de las mismas).

2. Fallas relativas a anclajes y uniones inadecuadas: Estas fallas ocurren en la sala de máquinas, en el foso de fin de recorrido del ascensor, dentro del interior de la cabina y en puntos de ubicación de equipos anexos al sistema de ascensores, pero fundamentales para su funcionamiento. Las fallas de equi-

pos ubicados en la sala de máquinas corresponden a deslizamiento de motor de tracción y generadores, deslizamiento y volcamiento de panel de control y cuadros de comandos electrónicos, y deslizamiento, volcamiento o desalineación del mecanismo regulador de velocidad. Entre las fallas de anclaje o apernado de los equipos ubicados en el foso de fin de recorrido se encuentran el desalineamiento del sistema tensor del regulador de velocidad y fallas de alineación de los paragolpes de cabina y contrapeso. Las fallas asociadas a sistemas anclados o apernados al interior de la cabina están ligadas con la caída o desprendimiento del techo de la cabina, la destrucción o daño de las partes ornamentales (espejos, decorado, etc.), daños en los sistemas de apertura de puertas, de los interruptores de llegada a piso y de las botoneras de selección de viajes.

3. Fallas relativas a los sistemas de cables y ducto de transporte vertical: Entre las fallas asociadas a los cables de suspensión, tracción, gobernantes, compensación o viajeros están: el corte, torcido, desalineado o enredo entre ellos o con otras partes del sistema de ascensores. Estas fallas se pueden producir por la liberación de la cabina o los contrapesos de sus rieles guías, lo que deja libre a los cables y permite que ocupen posiciones que normalmente no tendrían. También se puede producir la falla por corte de los sistemas de cables al desplazarse de su posición el motor de tracción. En este caso, la losa de la sala de máquinas actúa como una cuchilla sobre los cables que la atraviesan. Otra forma de falla está dada por el deterioro de los cables, cabina, contrapesos y sistemas de rieles debido a la caída de material y escombros que forman parte del ducto de circulación.

4. Fallas de planificación y coordinación del funcionamiento de los sistemas de ascensores en condiciones de emergencia: Este es el tipo de fallas que se relacionan con el funcionamiento inadecuado del sistema bajo condiciones de emergencia, lo que da origen a otras fallas. La decisión de la existencia y tipo de mecanismo de protección sísmica a

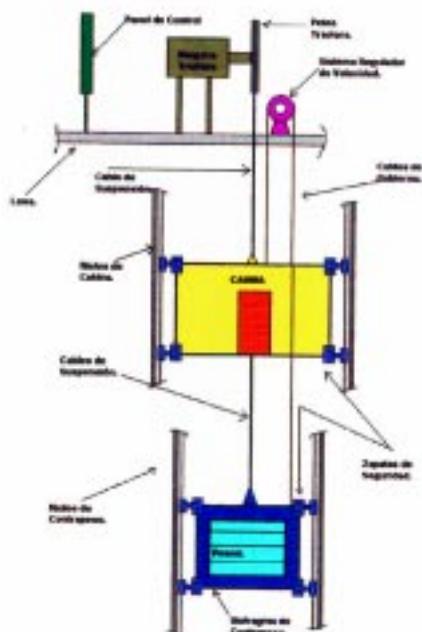


Figura 1 Esquema Simplificado de un Sistema de Ascensor Tipo Traccionado por Cable

instalar en un edificio y los procedimientos a seguir deben ser determinados de acuerdo al uso del edificio, por ejemplo, si es un hospital debiera pensarse en un detector de aceleraciones que produzca la liberación de los pasajeros en el piso más próximo, pero que no desarrolle la secuencia de apagado del sistema. La razón de esto último es que cada vez que existan sismos de mediana intensidad se podría estar interrumpiendo el servicio de ascensores sin que se ocasionen daños de importancia.

RECOMENDACIONES DE PROTECCION SISMICA

La seguridad de un ascensor se puede dividir en dos partes, una parte pasiva y otra activa. La primera, puede ser vista como todas aquellas acciones tomadas para reforzar y reformular el sistema de ascensores por medio de refuerzos y cambios en la disposición de las piezas y equipos. La segunda, consiste generalmente en la identificación de daños e inicio de los procedimientos de emergencia para iniciar una secuencia controlada de apagado del sistema y descenso de los pasajeros.

A partir del año 1971, año del terremoto de San Fernando, se ha visto una evolución favorable del mejoramiento de la seguridad sísmica de los sistemas de ascensores. El país que se ha preocupado mayoritariamente de esto ha sido Estados Unidos, donde la investigación, desarrollo de tecnología y medidas de mitigación de daños, se han visto plasmadas en el Código Nacional Americano de Estándares de Seguridad para Ascensores y Escaleras Mecánicas, ANSI A-17.

El objetivo esencial de este código es reducir los riesgos de daño a personas y luego la protección de los equipos. Esta también es una forma de no aumentar significativamente los costos en los equipos que incorporen sus modificaciones. Los mayores cambios para mejorar la seguridad frente a terremotos pueden ser divididos en cuatro grupos:

- a. Diseño de anclajes. Entre los equipos en los que se incluyen las máquinas, paneles de control, motores generadores y otros, deben ser adecuadamente

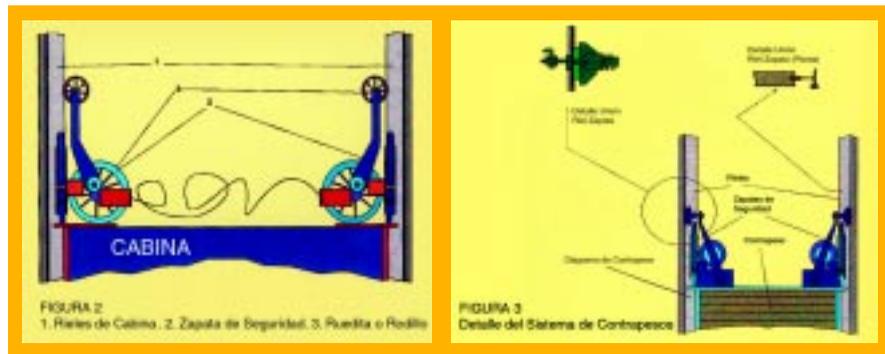


Tabla n° 1. Daños experimentados en Sistemas de Ascensores

Terremoto	San Fernando (1971). (1)	Northridge (1994). (2)
Universe de ascensores investigados	7000	100
Descripción del daño	Nº de ocurrencias	Nº de ocurrencias
Fuente de poder de emergencia no disponible.	184	14
Falla de equipos anclados.		
-Máquina Tractora.	13	5
-Motor Generador.	184	6
-Cable Gobernador.	20	1
Fallas del Cable de Compensación.	100	2
Rieles y Soportes de Rieles.		
-Rieles Distorsionados.	56	26
-Desprendimiento de Soportes Intermedios.	174	12
-Fractura de Soportes Principales de Contrapeso.	174	6
-Fractura de Soportes Principales de Contrapeso.	18	4
Zapatas Guías de Seguridad Dañadas.		
-De Cabina.	9	17
-De Contrapeso.	9	13
Contrapesos Descarrilados.	674	9
Estabilizadores de Cabina deformados.	102	30
Tableros Controladores Dañados.	5	4
Daños al interior de la Cabina.		
-Techos.	-	8
-Muros.	52	1
-Puertas.	24	5
Entrada del Shaft Dañada.	2	8
Muros del Shaft Dañados.	50	17
Cables Viajeros Cortados.	7	26

(Ref: 1.- Elevator World. "Earthquake and Elevators", Elevator World's 1972. Annual Study. Octubre 1972. 2.- Kurt Scheafel, PE. "THE NORTHRIDGE EARTHQUAKE, The Report to the Hospital Building Safety Board on the performance of Hospitals". Office of Statewide Health Planning and Development, FACILITIES DEVELOPMENT DIVISION. Junio, 1995.)

- b. apoyados por medio de anclajes a muros, techos o pisos, para resistir las fuerzas sísmicas.
- b. Prevención de fallas en los sistemas de cables. Estas medidas se pueden agrupar en dos categorías: la modificación de las características del ducto de ascensores para evitar el enredo, torcedura o corte de los cables de suspensión, gobernantes o de viaje, y proporcionar sistemas adicionales de fijación o aislamiento de los cables para mantenerlos en su posición de trabajo.
- c. Contrapesos y rieles. Se han hecho cambios para mantener los contrapesos en sus rieles guías. El uso de sistemas de rieles de mayor tamaño, y la disminución de los espaciamentos entre los soportes de las guías de rieles. Se han incorporado sistemas de arrios-

tre entre miembros de un mismo par de rieles guías, para evitar que las cargas sísmicas impuestas por el contrapeso o la cabina sean resistidas por un solo riel.

- d. Operación de ascensores bajo condiciones de emergencia en terremotos. Se han propuesto detectores de aceleración (para detectar eventos sísmicos o impactos de elementos de cabina), y de desplazamiento para detectar equipos fuera de sus posiciones normales de viaje. Los avisos que emanen de estos artefactos ponen en marcha la modalidad de operación bajo condiciones de emergencia.

Estas recomendaciones no son suficientes para el diseño de ascensores que tengan que resistir terremotos de intensidad mayor y continuar en funcionamiento, como es el caso de los sistemas de ascensores que operarían en los servicios de salud o sistemas críticos. Para este último caso se recomienda proporcionar un mayor robustecimiento de las piezas resistentes, con el fin no sólo de proteger la integridad física de los ocupantes, sino que, además, asegurar la continuidad del servicio luego de una catástrofe. Además es necesario considerar que para que el diseño sísmico sea eficiente en la protección de la inversión y función, se deberá considerar el refuerzo de las piezas mecánicas, características de los materiales y la fragilidad de la estructura donde éste será alojado, en conjunto con el efecto de otros componentes no estructurales del ducto.

SITUACION DEL DISEÑO ANTISISMICO DE SISTEMAS DE ASCENSORES EN CHILE

Generalmente las empresas chilenas realizan la venta de equipos nuevos contruidos con estándares extranjeros, de acuerdo a los requerimientos de tráfico del proyecto donde se vean involucradas. También se arman ascensores localmente, de acuerdo a las características arquitectónicas del edificio y a patrones de diseño de los países proveedores.

En Chile los sistemas de protección sísmico pasivo y activo son un equipamiento opcional poco pedido según comentarios de las empresas. Esto con-

Tabla n° 2. Resumen de los daños típicos en ascensores	
Sistema de suministro de energía:	Problemas con el sistema eléctrico: sin energía. Generadores: desplazados, algunas armaduras dañadas. Motores: daños varios, quemados, fuera de alineación.
Falla de equipos o elementos anclados.	Máquina tractora: desplazada o volcada. Motor generador: desplazado de sus apoyos. Sala de máquinas: plataformas de pisos, muros y tabiques dañados.
Sistema de cables:	Cable tutor, de compensación, gobernantes, levantadores y de viaje: enredado, torcido, fuera de surco o dañados.
Contrapesos:	Contrapesos: fuera de sus rieles guías, posiblemente dañando cabinas. Zapatas de la guía: deformadas. Diafragma de Contrapesos: deformado.
Cabina:	Cabinas: fuera de sus rieles guías o desalineadas. Controladores: desplazados o dañados. Interruptores y contactos de puertas de cabinas: quebrados. Unidades nivelantes: dañadas. Sets de seguridad de cabina: dañados. Tableros controladores: dañados. Techos: colapsados, perforados. Muros: colapsados, perforados. Puertas: marco distorsionado.
Rieles y soportes de rieles.	Rieles: distorsionados. Soportes principales de contrapeso: fracturados o torcidos. Soportes principales de cabina: fracturados o torcidos. Guía de rieles del contrapeso: fuera de alineación, inclinadas o fracturadas. Guía de rieles de la cabina: torcidos o desplazados. Guía de rieles del contrapeso: torcidos o desplazados. Sistema de montaje guía rodante sobre los rieles de contrapeso: deformado.
Zapatas guías de seguridad dañadas.	De cabina: dañadas. De contrapeso: dañadas.
Shaft:	Entrada del shaft: dañada. Puertas de shaft de ascensores: que no deslizan o se arrastran. Puertas de shaft de ascensores: vidrios dañados. Muros del shaft de ascensores: inclinadas golpeando contra las cabinas, rupturas severas, perforaciones y caída de material.
Misceláneos.	Anunciadores: fuera de servicio. Fallas de iluminación: Interrupción del servicio. Fusibles: estallados. Sistemas de cañerías: cortadas. Fosos: inundados. Amortiguadores: dañados.

trasta con la normativa norteamericana que exige que para las zonas sísmicas tres y cuatro de Estados Unidos se instalen en forma obligatoria interruptores sísmicos y sistemas detectores de descarrilamiento, en los ascensores.

De esta manera el nivel de seguridad sísmica que finalmente se establece para los equipos de transporte vertical en Chile queda a cargo de la persona que hace las especificaciones técnicas de los equipos requeridos. **BIT**