

DISEÑO SISMICO DE ASCENSORES DE TRACCIÓN

Rubén Boroschek K.¹

Eduardo Muñoz A.²

Resumen.

El siguiente trabajo presenta un resumen de los daños sísmicos producidos en ascensores de tracción y las componentes más vulnerables a la acción de un terremoto. Se revisan distintos códigos internacionales referentes al diseño de ascensores y se describen los aspectos fundamentales del norteamericano y del japonés. A partir de estos códigos y de la experiencia sísmica nacional se rescatan los requerimientos de diseño que debieran ser considerados en Chile. Para mostrar la urgente necesidad de elaborar una normativa, se presenta los resultados de una evaluación de ascensores en edificios modernos según los requerimientos de los códigos estudiados y de una evaluación de su comportamiento en sismos nacionales recientes.

1. Introducción.

La experiencia muestra que en un evento sísmico, las deformaciones y aceleraciones de un edificio afectan de forma importante al sistema de transporte vertical. Si no se ha considerado el sismo en su diseño se pueden esperar daños, pérdidas de servicio y un aumento en el riesgo a los ocupantes de la estructura.

El sistema de ascensores es esencial para el transporte de personas en edificios en altura y su importancia se realza en instalaciones críticas como hospitales. Sin embargo, en pocos países existe una normativa que guíe su diseño y establezca los requisitos mínimos de seguridad. Chile carece de un código específico para el diseño sísmico de ascensores, a diferencia de lo que ocurre en otros países de tradición sísmica como Japón y Estados Unidos.

En este trabajo se presentan recomendaciones básicas para el diseño sísmico de ascensores de tracción, pues esta tipología ha presentado el mayor daño durante eventos sísmicos severos.

2. Antecedentes.

2.1. Componentes de un sistema de ascensores

Los ascensores son un complejo sistema estructural, mecánico y eléctrico.

Los principales elementos que componen un sistema de ascensores de tracción se observan en las figura 2.1 a 2.4 y son: cabina, contrapeso, sistema de rieles, equipos eléctricos, cables, poleas y dispositivos de emergencia.

La cabina es el lugar donde se ubican los pasajeros o la carga durante el viaje. Está compuesta comúnmente por una estructura de acero con rieles guías ubicados en sus costados. El contrapeso, en tanto, es un conjunto de masas confinadas en una estructura de acero, que viaja en la dirección contraria del movimiento de la cabina y sirve para balancear el peso y aliviar el trabajo de la máquina tractora. La cabina y el contrapeso se mantienen en contacto con los rieles a través de elementos de conducción entre los que destacan las zapatas y los rodillos. Adicionalmente se instalan unos retenedores de posición, que son unas placas apernadas bajo los elementos de conducción y que sirven para encausar el movimiento vertical de la cabina y el contrapeso y limitar los descarrilamientos en casos de sismos.

Los rieles son usados para guiar al contrapeso y la cabina en su movimiento vertical. Estos son perfiles metálicos de sección T y se encuentran apoyados a intervalos regulares a vigas o soportes, los cuales a su vez van ancladas a elementos estructurales. Los rieles están sujetos a sus apoyos mediante unos elementos de fijación denominadas pestañas. Los rieles poseen una

¹ Ingeniero Civil, Universidad de Costa Rica. M.Sc. University of California Berkeley. Ph.D. University of California Berkeley. Académico Jornada Completa Departamento Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

² Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

longitud limitada que permite su instalación en edificios en construcción, lo que obliga a su empalme.

La sala de máquinas se encuentra generalmente en el último piso del edificio y en ella se ubican los equipos eléctricos que permiten el funcionamiento del ascensor. No obstante, en algunos casos este sistema se ubica en la cabina. El motor y la máquina de tracción proporcionan la fuerza necesaria para producir el ascenso y descenso de la cabina entre los diferentes pisos. El funcionamiento es manejado por el panel de control que se programa computacionalmente para recibir las llamadas desde los distintos pisos y da las órdenes a la cabina para que acuda al piso solicitado. Estos equipos generalmente están anclados por medio de pernos a la losa o a un sistema montante aislador de vibraciones. El sistema es acompañado por el regulador de velocidad, cuya función es detener el descenso de la cabina cuando esta excede una determinada velocidad.



Fig.2.1: Sala de máquinas.

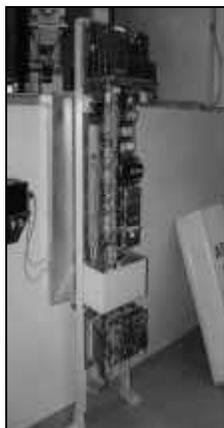


Fig.2.2: Panel de control.



Fig.2.3: Ducto de circulación y componentes.



Fig.2.4: Contrapeso.

Existen cuatro tipos de cables en el ducto de ascensores: cable de suspensión que conecta el extremo superior de la cabina con el extremo superior del contrapeso, pasando por la máquina tractora; cable o cadena de compensación que conecta el extremo inferior de la cabina con el extremo inferior del contrapeso para limitar las vibraciones durante las frenadas; cables viajeros que conectan el panel de control con la cabina de modo de transmitir las señales eléctricas; cable regulador que conecta el regulador de velocidad con la cabina.

Los dispositivos de emergencia sísmica más comunes son el interruptor sísmico y el detector de descarrilamiento. El interruptor sísmico se activa cuando se detectan aceleraciones sísmicas sobre un determinado umbral y generalmente está instalado en la sala de máquinas. El interruptor de descarrilamiento, en tanto, se activa cuando se detecta algún desplazamiento excesivo del contrapeso.

2.2. Daños sísmicos en el sistema de ascensores

Los ascensores constituyen una parte integral del edificio y por ende son también vulnerables a la acción de los terremotos.

La información acerca de los daños sufridos en los ascensores durante un movimiento sísmico severo comenzó a ser recolectada en forma sistemática y organizada con posterioridad al terremoto de San Fernando de 1971. En especial se cuenta con información de los terremotos de Whittier Narrows (1987), Loma Prieta (1989), Northridge (1994), Kobe (1995), El Salvador (2001), Seattle (2001) y Perú (2001).

De la recopilación de información efectuada se observa que los daños más comunes son (Boroschek y Mata, 1999):

- Descarrilamiento de la cabina o del contrapeso y eventual colisión entre ambos.
- Desprendimiento de las masas del contrapeso.
- Deformación excesiva o fractura de los rieles guía (figura 2.5).
- Daños en el sistema de anclaje y sujeción a los apoyos de los rieles guía.
- Daños en los elementos de conducción.
- Volcamiento o desplazamiento de equipos en la sala de máquinas (figura 2.6 y 2.7).
- Enredo o corte de los cables que viajan por el ducto.
- Desplazamiento de los cables de las poleas.
- Daños al interior de la cabina.
- Daños en la estructura del ducto de circulación.



Fig.2.5: Deformación permanente del riel y descarrilamiento del contrapeso.



Fig.2.6: Vuelco de la máquina de tracción.



Fig.2.7: Falla de conexión.

En la mayoría de los casos, los daños se producen mientras ocurre el terremoto debido a las solicitaciones y deformaciones impuestas por el movimiento sísmico. Sin embargo, algunos de los daños son producidos debido a la temprana reiniciación del servicio sin haber efectuado de manera previa una revisión de los daños.

3. Normas de diseño de ascensores.

En Chile, el capítulo octavo de la norma de diseño sísmico de edificios, NCh433 of.96 [2], tiene por objetivo establecer las condiciones y solicitaciones para el diseño y anclaje de los elementos secundarios que componen el edificio (entre ellos los ascensores), tomando en cuenta el uso del edificio y la necesidad de continuidad de operación. Para ello, establece un coeficiente sísmico y un factor de desempeño (que depende de la categoría del edificio) las que son utilizados para determinar las fuerzas sísmicas de diseño en el sentido horizontal y vertical.

Por otro lado, la norma chilena NCh440 Of.2000 [3], sobre construcción e instalación de ascensores, establece los requisitos de seguridad que deben cumplir los ascensores, de modo de proteger a las personas contra los diferentes riesgos de accidentes asociados al funcionamiento del ascensor, sin embargo, no hace ninguna consideración de la demanda sísmica.

El código Neo Zelandés [4] establece el diseño, construcción y operación de los ascensores y establece que las maquinarias, los rieles guía, la cabina y los equipos deben ser diseñados con una fuerza producida por las aceleraciones sísmicas impuestas por un terremoto. Para ello, el código determina la aceleración de diseño sísmico que depende de la zonificación sísmica y de la categoría del edificio.

Por último, en Japón y Estados Unidos se han desarrollado códigos para el diseño sísmico de ascensores considerando las distintas componentes que comúnmente fallan en un terremoto. Ambos códigos entregan una serie de requerimientos y fórmulas de diseño que se describen a continuación.

3.1. Código japonés

La Guía Japonesa para Terremotos [5] tiene por objetivo permitir la operación del ascensor en condiciones seguras después de la ocurrencia de un terremoto, garantizando la vida de los pasajeros. Para ello establece las siguientes condiciones:

- El diseño del ascensor debe ser tal que los esfuerzos y deflexiones de los equipos y materiales sean menores que los valores admisibles.
- Los equipos de la sala de máquinas deben ser diseñados e instalados de modo de evitar su volcamiento o deslizamiento.

- Los cables principales de las poleas no deben desplazarse por el movimiento causado por el terremoto.
- Se deben tomar medidas de protección para que los cables móviles no se dañen por las partes salientes en el ducto.

Las recomendaciones principales de la norma se pueden resumir de la siguiente manera:

3.1.1. Sistema de rieles

Riel

El código establece las fórmulas para determinar las cargas sísmicas de diseño de los rieles:

$$P_x = 0,6 \cdot K_h \cdot W \quad (3.1)$$

$$P_y = 0,5 \cdot 0,6 \cdot K_h \cdot W \quad (3.2)$$

donde P_x y P_y son las cargas de diseño en la dirección paralela y perpendicular al riel, W es el peso del contrapeso o el peso de la cabina más el 25% de su capacidad de carga y K_h es la intensidad de diseño del terremoto que depende de la altura y algunas propiedades dinámicas del edificio y de la zona donde este se emplaza.

Las fórmulas que permiten determinar los esfuerzos y las deflexiones de los rieles debido a la carga sísmica son las siguientes:

$$s = (7 \cdot b \cdot P \cdot l) / (40 \cdot Z) \quad (3.3)$$

$$d = (11 \cdot b \cdot P \cdot l^3) / (960 \cdot E \cdot I) \quad (3.4)$$

donde s es el esfuerzo de flexión del riel en kg/cm^2 , d es la deflexión del riel en cm, P es la carga de diseño (P_x o P_y), l es la distancia entre los apoyos de rieles, Z es el módulo resistente del riel, I es el momento de inercia del riel del riel, E es el módulo de Young del acero del riel y b es la tasa de reducción por la existencia de elementos de amarre intermedio de rieles y depende del tamaño nominal del riel ($b=1.0$ en caso de no existir).

El código establece una tensión admisible de 2400 kg/cm^2 y una deflexión admisible igual a la dimensión del enganche entre la zapata de seguridad y el riel guía menos $1,5 \text{ cm}$.

Apoyos

Con respecto a las vigas de apoyo, el código establece que el diseño debe ser realizado considerando la forma o

la estructura de cada viga en particular. No obstante establece la tensión admisible (de 2400 kg/cm^2) y la deflexión máxima permitida ($0,5 \text{ cm}$).

El código también establece las fórmulas de diseño de los apoyos intermedios para la fijación de los rieles del contrapeso.

3.1.2. Cabina y contrapeso

El código no establece requerimientos de distancias entre contrapeso, cabina y ducto, ni tampoco para los elementos de conducción y los retenedores de posición.

3.1.3. Equipos eléctricos

Las fórmulas para determinar las fuerzas sísmicas de diseño de los equipos son:

$$F_h = K_h \cdot W \quad (3.5)$$

$$F_v = 0,5 \cdot K_h \cdot W \quad (3.6)$$

donde F_h y F_v son las fuerzas sísmicas en el sentido horizontal y vertical, W es el peso del equipo.

Establece que el momento volcante producido por la fuerza sísmica horizontal que actúa en el centro de gravedad del equipo sea menor que el momento resistente, producido por el peso y la fuerza sísmica vertical que actúan en el centro de gravedad del equipo y la fuerza de tracción admisible de los pernos que anclan el equipo a la losa. Así mismo, la fuerza deslizante (fuerza sísmica horizontal) debe ser menor que la fuerza resistente generada por el corte admisible de los pernos.

3.1.4. Poleas y cables

El código establece que la profundidad de las ranuras de la polea debe ser al menos igual a la mitad del diámetro del cable y que la altura del tope en el extremo debe ser mayor al diámetro. Si estas medidas no son satisfechas, se debe disponer de un retenedor de cables separado al menos 3 mm de estos. En este caso, la profundidad de las ranuras y la altura del tope de la polea deben ser al menos igual a dos tercios del diámetro del cable.

Por otro lado, el código establece una serie de medidas para proteger a los cables que viajan por el ducto según la altura en que se encuentren. Así, por ejemplo, para alturas hasta 15 metros no se requieren medidas de protección; para alturas entre 15 y 30 metros se requieren protecciones en los extremos de los apoyos del

riel de contrapeso y en los apoyos de rieles que se encuentren cerca de los cables viajeros; para alturas entre 30 y 120 metros se requieren, adicionalmente a las medidas anteriores, guías para los cables reguladores de velocidad; y para alturas superiores a 120 metros, todos los cables requieren de un protector o de un cable de protección.

3.1.5. Dispositivos de emergencia

El código establece que el dispositivo de control de operación durante la ocurrencia de un terremoto debe ser diseñado en coordinación con el sistema de control del ascensor. Además, establece distintos valores de activación del sensor de terremoto según la altura del edificio.

3.2. Código norteamericano

El código norteamericano ASME A17.1 [6] considera para el diseño los siguientes elementos:

- Equipos, máquinas, poleas y soportes.
- Distancia horizontal entre cabina y contrapeso.
- Sistema de rieles guía de cabina y contrapeso.
- Contrapesos.
- Estructura y plataforma de la cabina.
- Operaciones de emergencia y dispositivos de señalización.

3.2.1. Sistema de rieles

Riel

Los rieles deben ser diseñados para resistir la fuerza sísmica inducida por el peso de la cabina (más el 40% de su carga nominal) o el peso del contrapeso, considerando una aceleración sísmica igual a 0,5 veces la aceleración de gravedad. La tensión admisible por flexión corresponde al 88% de la tensión de fluencia del material usado.

Para evaluar la capacidad resistente de los rieles el código entrega fórmulas de diseño que determinan el peso máximo admisible por pares de rieles guías producido por la acción sísmica.

$$W \leq W_{adm} = I \cdot Z / l \quad (3.7)$$

donde W es el peso de la cabina (más el 40% de su sobrecarga) o del contrapeso, W_{adm} es el peso admisible que debe resistir el riel, l es la distancia entre los apoyos de rieles, Z es el módulo resistente del riel y I es una

constante que depende del peso por unidad de longitud del riel.

Para verificar la rigidez del riel, se debe determinar el momento de inercia mínimo del riel para resistir las deformaciones impuestas por la acción sísmica. Esta fórmula impone una deflexión admisible en el centro del vano del riel, que depende de su tamaño nominal.

$$I_{min} = (b \cdot W \cdot l^3) / (D \cdot E) \quad (3.8)$$

donde I_{min} es el momento mínimo de inercia del riel, E es el módulo de elasticidad del acero del riel, D es la deformación admisible en el centro del riel para un tamaño de riel dado y b es una constante que depende del modelo considerado.

Adicionalmente, el código entrega siete gráficos tabulados para cada tamaño nominal de riel estándar, los que permiten determinar, en función del espaciamiento entre los apoyos principales y de la presencia o ausencia de mecanismos de apoyos intermedios, el peso máximo admisible por pares de rieles guías.

Apoyos

Los apoyos de los rieles deben ser diseñados para resistir la fuerza sísmica inducida por el peso de la cabina más el 40% de su carga nominal, o el peso del contrapeso, considerando una aceleración de diseño igual a 0,5g, según la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{si } L \geq l \quad R &= 0,5 \cdot W \cdot (1 - L/3l) \\ \text{si } L < l \quad R &= 0,33 \cdot W \end{aligned} \quad (3.9)$$

donde R es la fuerza sísmica de diseño y L es la distancia entre los retenedores de posición.

Los apoyos deben ser diseñados considerando una tensión admisible igual al 0,88% la tensión de fluencia y una deflexión admisible en el punto de soporte igual a 6,4 mm.

Sujeción de rieles

Los rieles guía deben ser asegurados a sus apoyos por clips o pernos, los cuales deben ser diseñados para resistir misma la fuerza sísmica que actúa en el riel.

Empalmes

Los empalmes de los rieles guía deben cumplir con las siguientes especificaciones: Los extremos de los rieles empalmados deben ser ajustados en sus almas con una

llave macho hembra; Se deben utilizar al menos cuatro pernos por riel, para los cuales se especifican diámetros mínimos que dependen del tamaño del riel. Lo mismo sucede con las perforaciones para los pernos; El ancho de la placa, su módulo resistente y su momento de inercia deben ser al menos igual al del riel.

Además, las placas y los pernos deben ser diseñados para resistir las mismas fuerzas sísmicas que actúan en el riel, sin exceder las limitaciones de flexión y deformación

3.2.2. Cabina y contrapeso

El código limita las distancias libres horizontales entre algunos elementos para prevenir posibles colisiones: Entre la cabina y la estructura del contrapeso se establece un máximo de 51 mm a menos que existan apoyos intermedios y entonces el valor máximo se incrementa al doble; un máximo de 51 mm entre el contrapeso y el ducto de circulación o las vigas de separación; un máximo de 25 mm entre el contrapeso y la obstrucción más cercana; y un máximo 13 mm entre la estructura del contrapeso y la superficie de sus rieles guías.

Con respecto a los retenedores de posición, el código establece que se deben proveer tanto en la cabina como en el contrapeso y que la distancia entre el elemento superior e inferior debe ser mayor que la altura de la estructura (cabina y contrapeso). Además, la distancia libre entre la superficie del riel guía y el retenedor de posición debe ser menor que 4,8 mm y la profundidad del enganche entre el retenedor de posición y el riel debe ser mayor que la superficie de corredera del riel. Por último, el retenedor y sus anclajes deben ser diseñados para resistir una fuerza sísmica horizontal.

3.2.3. Equipos eléctricos

El código determina que los dispositivos de anclajes utilizados en los equipos deben ser diseñados para resistir las fuerzas sísmicas en el sentido horizontal y vertical actuando simultáneamente. Para ello establece las aceleraciones o coeficientes de diseño en cada sentido dependiendo de si el anclaje es rígido ($c_H=1,0g$ y $c_V=0,5g$) o está sujeto a cargas de impacto ($c_H=2,0g$ y $c_V=1,0g$). Además, establece que la tensión combinada máxima admisible de los anclajes corresponde al 88% de la tensión de fluencia del material usado.

3.2.4. Poleas y cables

Las poleas deben estar provistas de un retenedor de cables, el cual debe cubrir al menos dos tercios del arco de contacto entre el cable y la polea y debe estar ubicado de modo que no más de un sexto de dicho arco esté expuesto en cada extremo del retenedor.

Por otro lado, los apoyos de rieles, pernos, placas bases y dispositivos similares deben estar provistos de resguardo para prevenir el enredo de los cables. Alternativamente, limita las siguientes distancias de los cables a dichos puntos: del extremo del cable o cadena de compensación en el contrapeso a los apoyos de rieles (mínimo 762 mm), del loop inferior de la cadena de compensación a cualquier punto de enredo (mínimo 914 mm), del cable regulador de velocidad a cualquier punto de enredo (mínimo 508 mm), del cable de suspensión a cualquier punto de enredo (mínimo 305 mm) y del loop inferior de los cables viajeros a cualquier punto de enredo (mínimo 914 mm).

3.2.5. Dispositivos de emergencia

El código establece que todos los ascensores de tracción que operen a una velocidad nominal superior a 0,76 m/s deben estar provistos de al menos un interruptor sísmico por edificio, de un interruptor de desplazamiento y de un interruptor o botón de reseteo momentáneo por ascensor. El interruptor sísmico debe ser activado bajo una excitación en la dirección vertical de no más que 0,15g y su frecuencia de respuesta debe ser de 1 a 10 Hz. Además, debe estar ubicado en la sala de máquinas del ascensor y ser montado adyacente a un elemento estructural del edificio. El interruptor de desplazamiento debe ser activado por el descarrilamiento del contrapeso en cualquier punto del ducto.

Por último, ninguno de los códigos hace una referencia directa a la tipología estructural del edificio, en especial al requerido en el ducto de circulación.

4. Propuesta de norma.

Los elementos que deben ser contemplados en la norma de diseño sísmico de ascensores, según los daños observados y de acuerdo a los requerimientos de diseño de los códigos internacionales, son los siguientes:

Componente	Especificación
Sistema de Rieles	- Diseño según la fuerza sísmica impuesta por el peso de la cabina (y sobrecarga) o del contrapeso.
Riel	- Resistencia a la flexión y a la deformación impuesta por la fuerza sísmica.
Apoyos	- Resistencia a flexión, corte y deformación impuesta por la fuerza sísmica.
Sujeción riel-apoyo	- Resistencia a la flexión y al corte impuesto por la fuerza sísmica.
Empalmes de rieles	- Especificaciones para rieles y placas y pernos de empalme, según las recomendaciones detalladas en el código norteamericano y japonés.
Cabina y Contrapeso	- Limitación de la distancia entre cabina, contrapeso y ducto. - Instalación de un retenedor de posición y especificaciones según las recomendaciones del código norteamericano. - Diseño del retenedor de posición según la fuerza sísmica impuesta por el peso de la cabina (y sobrecarga) o del contrapeso.
Equipos Eléctricos	- Diseño según la fuerza sísmica impuesta por el peso del equipo. - Resistencia del sistema de anclaje para evitar volcamiento o deslizamiento del equipo ante la acción de las fuerzas sísmicas. - Seguridad y estabilidad interna de sus componentes.
Poleas y Cables	- Presencia de retenedor de cables en las poleas. - Dimensionamiento de las ranuras y topes de las poleas. - Protección de los puntos de enredo de cables creados en el ducto. - Limitación de la distancia entre los cables y posibles puntos de enredo.

Componente	Especificación
Dispositivos de Emergencia	- Presencia de interruptores sísmicos y detectores de descarrilamiento de contrapeso.
Ducto de Circulación	- Considerar las deformaciones relativas en el diseño del sistema de ascensores.. - Limitación de daños, desprendimientos y desplomos. - Proporcionar puntos de apoyo seguros y estables.

5. Encuestas de evaluación

Para reunir y estandarizar la información necesaria para el desarrollo de una normativa, se desarrollaron dos encuestas. La primera para identificar las condiciones de diseño e instalación y la segunda para evaluar y caracterizar los daños observados en terremotos.

5.1. Evaluación de vulnerabilidad sísmica

Esta encuesta permite evaluar la vulnerabilidad sísmica del sistema de ascensores según recomendaciones de diseño. La información contenida en la encuesta es la siguiente:

- Identificación del edificio y datos generales del ducto de circulación y del sistema de ascensores (número de paradas, velocidad nominal, carga máxima y pesos de cabina y contrapeso).
- Propiedades geométricas y mecánicas de rieles, vigas de apoyo, pestañas de sujeción, empalmes y guías de conducción; Distancia entre vigas de apoyos, entre guías de conducción, entre cables y puntos de enredo y entre contrapeso y cabina y ducto de circulación; Dimensiones, peso y anclajes de los equipos de sala de máquinas; Existencia de dispositivos de emergencia.
- Análisis y evaluación de las distintas componentes según los requerimientos de diseño antes expuestos.

Como primera etapa, la encuesta fue aplicada a diez ascensores modernos en un total de nueve edificios en Santiago. La tabla 4.1 muestra los requerimientos de diseño y el porcentaje de incumplimiento de cada uno de ellos, en referencia a la norma ASME A17.1.

Tabla 4.1: Componente del sistema de ascensores que no cumplen con los requerimientos de diseño.

Requerimientos de diseño	Porcentaje Incumplimiento
Presencia retenedor de cables.	50
Resguardo puntos de enredo de cables.	60
Disponibilidad interruptor sísmico.	100
Disponibilidad detector de descarrilamiento de contrapeso.	90
Resistencia de anclajes de panel de control.	0
Capacidad resistente riel de contrapeso.	40
Capacidad de deformación de riel de contrapeso.	20
Capacidad resistente vigas de apoyo.	50
Capacidad resistente pestañas de sujeción.	70
Requerimientos mínimos placa de empalme.	100
Diámetro mínimo de pernos para empalme.	80
Distancia mínima entre contrapeso y riel.	60
Distancia mínima entre guía y riel.	40
Relación de distancia entre enganche guía-riel y superficie de corredera del riel.	100

5.2. Evaluación de daños sísmicos

Esta encuesta permite registrar y evaluar los daños observados en los sistemas de ascensores producidos por los terremotos. El contenido de la encuesta es el siguiente:

- Datos generales del terremoto: localización, fecha, magnitud e intensidad.
- Identificación del edificio y datos generales del ducto de circulación y del sistema de ascensores.
- Listado con las componentes vulnerables del sistema de ascensores y los posibles tipos de falla de cada uno. Nivel del daño producido: leve, moderado o severo.
- Observaciones adicionales relevantes.

La encuesta fue aplicada a siete ascensores en un total de cinco edificios en Arica, con posterioridad al terremoto que afectó el sur de Perú, el 23 de junio del año 2001 y cuyo epicentro se localizó a 420 km al noroeste de Arica. La magnitud medida en la escala de Richter fue de Mw 8,4 y la Intensidad sentida en Arica según la escala Modificada de Mercalli fue de VII. La tabla 4.2 muestra los distintos daños observados en los ascensores encuestados.

Tabla 4.2: Daños observados en ascensores de Arica producidos por el terremoto de Perú.

Descripción de la falla	Número de ocurrencias
Máquina tractora desplazada	3
Elemento de sujeción del riel fracturado	1
Guía del contrapeso fracturada	2
Descarrilamiento del contrapeso	4
Estructura del contrapeso fracturada	1

6. Conclusiones

En este artículo se presentaron distintos antecedentes que revelan la necesidad de elaborar una norma de diseño sísmico de ascensores. En base a los códigos japonés y norteamericano, se proponen los requerimientos que debiera contener una norma chilena para el diseño sísmico de ascensores de tracción.

Primero se efectuó una recopilación de daños sísmicos, lo que sumado a los resultados de los ascensores encuestados en Arica, revela la falta de un diseño sísmico de los distintos elementos para resistir la acción de un terremoto. Las componentes más vulnerables del sistema resultaron ser las siguientes:

- Los equipos eléctricos, que pueden volcarse o desplazarse debido a la acción sísmica si no se encuentra correctamente anclados.
- Los cables que viajan por el ducto de circulación, los que pueden enredarse o incluso romperse si no son protegidos los posibles puntos de enredo. Por otro lado, los cables pueden salirse de su posición en la polea motriz si no se dispone de un retenedor.
- Los rieles guía, las vigas de apoyo, las pestañas de sujeción y los elementos de conducción, que pueden sufrir una deflexión excesiva o incluso pueden fracturarse debido a las sollicitaciones impuestas por la fuerza sísmica.
- El contrapeso, que se puede descarrilar y eventualmente colisionar con la cabina o con los muros del ducto. Así mismo, la estructura del contrapeso puede ser dañada o fracturada, produciendo un desprendimiento de sus masas que podrían impactar la cabina o dañar los cables.
- La cabina, que también puede descarrilarse o que puede sufrir daños en su interior, como en las paredes, los cielos y la puerta de acceso.
- Por último, daños en el ducto de circulación pueden causar desprendimientos de material que le impidan cumplir su función de apoyo a los

La falla de cualquiera de ellos puede comprometer seriamente el funcionamiento del sistema de ascensores,

razón por la cual son considerados muy vulnerables a la acción sísmica.

Luego se estudiaron los distintos códigos y documentos, tanto nacionales como internacionales, relacionados con el diseño de los ascensores de tracción. A partir del código norteamericano y japonés, se desarrolló una propuesta de los requerimientos que debiera contener una norma chilena de diseño y una encuesta para ser aplicada a los ascensores chilenos, con el fin de determinar la vulnerabilidad de estos como respuesta a una acción sísmica. Los resultados mostraron que los ascensores encuestados no cumplen con varios de los requerimientos de diseño que resultan ser esenciales para que el sistema de ascensores se mantenga operativo después de un terremoto

Aunque la seguridad de la vida es el principal objetivo del diseño sísmico, las pérdidas financieras causadas por los ascensores dañados, tanto como las consecuencias económicas y sociales asociadas con la pérdida del uso del edificio debido a la inoperabilidad del ascensor, tienen un impacto mayor. Además, la interrupción del servicio de ascensores puede ser potencialmente peligrosa en hospitales y otros edificios que necesitan estar totalmente operables después de un terremoto.

Por último, el número limitado de estudios numéricos y experimentales, también como el número de observaciones de fallas, sugiere que son necesarias más investigaciones. De esta forma, las encuestas de evaluación de daños sísmicos y de evaluación de vulnerabilidad de ascensores que fueron desarrolladas en este trabajo se transforman en herramientas útiles para efectuar esta recopilación de información, la cual debiera ser normada, pues permitirá posteriormente realizar las correcciones de los códigos de diseño según la experiencia obtenida de los terremotos.

Referencias.

- [1] Boroschek, R. y P. Mata, 2000. Daños sísmicos en ascensores. Revista BIT. Santiago, Chile.
- [2] Instituto Nacional de Normalización, 1996. NCh433 Of.96, Diseño sísmico de edificios. Santiago, Chile.
- [3] Instituto Nacional de Normalización, 2000. NCh440 Of.2000, Construcción - Ascensores y montacargas - Requisitos de seguridad e instalación - Parte 1: Ascensores eléctricos. Santiago, Chile.
- [4] Standard New Zeland, 1997. NZS 4332:1997, Non domestic passenger and goods lifts.
- [5] Japanese Elevator Association. Guide for earthquake resistant design and construction of vertical transportation. (sin fecha)

- [6] American Society of Mechanical Engineers (ASME), 1996. Safety code for elevators and escalators ASME A17.1-1996, Part XXIV: Elevator safety requirements for seismic risk zone 2 or greater. NY, Estados Unidos.
- [7] Suarez, L.E. y M.P. Singh, 2000. Review of earthquake performance, seismic codes and dynamic analysis of elevators. Earthquake Spectra, Volumen 16, N° 4. Pp 853-878.
- [8] Muñoz, E., 2002. Diseño sísmico de ascensores de tracción. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. Santiago, Chile.