

CAPÍTULO 3

EDIFICACIONES ESENCIALES

3.1. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de *edificaciones esenciales* es importante destacar en qué sentido se considera a la misma de una importancia relativa que merezca un estudio especial o particular. Etimológicamente, el término “esencial” es sinónimo de “necesario”, sin embargo, el sentido que pretenden la mayoría de las referencias que hacen uso de este término, se corresponde con la propuesta del Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) según el cual, las edificaciones esenciales son *aquellas consideradas críticas para las operaciones de atención de la emergencia sísmica* o bien, como las refiere el FEMA (1999) *aquellas vitales para la respuesta ante la emergencia y posterior recuperación del desastre*. Según las disposiciones tentativas para el desarrollo de códigos sísmicos de edificios (ATC 3-06, 1978), son *aquellas donde funcionan instalaciones necesarias en la recuperación posterior al sismo, que deben permanecer en condiciones de funcionamiento durante y después del mismo*, visión que es compartida por el SEAOC (1988) y el BSSC (1991). En general, todas las referencias coinciden en señalar como ejemplos de edificaciones esenciales a los *hospitales, las estaciones de policías y de bomberos, los centros de control de emergencia, los centros de comunicaciones e inclusive las escuelas*, pues frecuentemente juegan un papel fundamental como refugios de los desplazados por daños en sus viviendas (FEMA, 1999). Estas instalaciones y sobre todo las que deben gestionar la atención de la emergencia, experimentan un incremento sustancial de la demanda de sus servicios inmediatamente después de un sismo, sin embargo, a causa del propio evento, probablemente se ha degradado su capacidad de prestarlo, planteando un escenario crítico para la atención de la emergencia sísmica que se traduce en un incremento brusco del riesgo asociado, situación que tiende a disminuir con el tiempo una vez superada la crisis sísmica.

Desde este punto de vista, la definición atiende más a la función de la instalación que alberga que al aspecto estructural de la propia edificación. Este último enfoque es el que tradicionalmente ha ocupado la mayor atención y quizás el responsable de la limitada información disponible sobre el comportamiento de estas edificaciones durante los terremotos, ya que su evaluación generalmente ha seguido el mismo patrón que el de las edificaciones convencionales, lo cual en cierta manera puede interpretarse como una subestimación de la importancia del papel que tienen las edificaciones esenciales en el riesgo sísmico de una comunidad.

Cuando se revisan las reseñas e informes sobre daños causados por sismos importantes se observa cómo la mayor parte de la atención se centra en los aspectos técnicos y cómo las llamadas lecciones aprendidas se fijan en las consecuencias directas de las crisis sísmicas, prestando poca o ninguna atención a las consecuencias indirectas del evento. Normalmente se limitan a describir los efectos sobre las edificaciones y otros tipos de infraestructura, las pérdidas de vidas humanas, en fin, los llamados daños directos. Sin embargo, la experiencia demuestra que los daños debidos a las pérdidas o mal funcionamiento de esta infraestructura, conocidos como daños indirectos, pueden llegar a ser tanto o más importantes que los asociados a los daños directos, sobre todo para las grandes ciudades, pues en ellas se enmarca la pérdida de oportunidades de trabajo o de

negocio, la pérdida de fuerza laboral y la interrupción de servicios, entre otros (Hu, Liu, Dong, 1996).

El presente capítulo tiene un sentido básicamente conceptual. Describe un marco contextual que centra su atención en las edificaciones esenciales. Se puntualiza la definición de las edificaciones esenciales y se describen sus características fundamentales, destacando las principales diferencias con otras edificaciones y su posición de acuerdo con la clasificación de edificaciones según su uso, importancia y riesgo de fallo, tradicionalmente reconocida en los códigos. Finalmente se describen los aspectos normativos que los códigos de diseño sísmico atribuyen a las edificaciones esenciales, haciendo una evaluación crítica de los aspectos relacionados con la filosofía de diseño, el factor de importancia, los controles de desplazabilidad y las medidas de protección de sus componentes no estructurales.

3.2. CONCEPTO DE EDIFICACIONES ESENCIALES

3.2.1. Definición

En nuestro caso, nos limitaremos a considerar como edificaciones esenciales, *aquellas edificaciones que albergan instalaciones y/o dependencias cuyo funcionamiento en condiciones de emergencia debidas a una crisis sísmica, es crítica y vital para afrontar las consecuencias inherentes del desastre natural. Aquellas que son necesarias para atender la emergencia y preservar la salud, seguridad y atención de la población después de un sismo.*

3.2.2. Clasificación

Utilizando como base la definición propuesta, es posible clasificar las edificaciones esenciales de acuerdo a la función específica que cumplen dichas instalaciones en una comunidad. Si bien la lista puede hacerse interminable, su identificación y jerarquización depende de la importancia y la función que desempeñe en el momento de una crisis sísmica.

a. Hospitales, clínicas, ambulatorios y centros de salud.

Las instalaciones de la salud requieren consideraciones especiales en relación con la mitigación del riesgo debido a sus características de ocupación y al papel que desempeñan durante situaciones de catástrofes en general y de crisis sísmicas en particular, en relación con la preservación de la vida y la salud, especialmente en el diagnóstico y tratamiento de heridas y enfermedades. Pueden tener en cualquier momento una alta densidad de ocupantes entre pacientes residentes, pacientes transitorios, médicos, enfermeros, personal administrativo, empleados, funcionarios, visitantes, estudiantes, niños e incluso recién nacidos. En caso de desastre, un hospital debe continuar con el tratamiento de los pacientes alojados en sus instalaciones y debe atender a las personas lesionadas por el evento. El edificio, las instalaciones y su dotación, deben permanecer en condiciones de servicio, más aún, si existen pocas alternativas para sustituir su función, ya que los daños de un hospital estratégicamente importante pueden causar una enorme crisis debido a la falta de alternativas en la zona y a la necesidad de atención urgente. Esto pone de manifiesto la naturaleza crítica y la interdependencia entre la edificación y su equipamiento, ya que

deficiencias en cualquiera de estos elementos atenta contra la funcionalidad del servicio. Por otra parte, los costos sociales de su disfunción, así como los costes económicos de su reposición o restauración coinciden en justificar medidas de seguridad extrema. En definitiva, *constituyen el principal representante de las edificaciones esenciales*.

b. Escuelas, colegios, universidades y otros institutos educacionales.

Los centros educacionales son considerados edificaciones esenciales principalmente por el importante papel que pueden jugar en la atención de las crisis sísmicas ya que constituyen instalaciones que pueden servir de alojamiento a los damnificados del terremoto. Sin embargo, también representan elementos expuestos a un nivel muy importante de riesgo debido a las características de su ocupación. De hecho, son edificaciones que alcanzan altas densidades de ocupación por largos períodos de tiempo, factor determinante para diferenciarlas de otras edificaciones no menos importantes, donde pueden ocurrir altas concentraciones de personas pero por períodos cortos de tiempos, como son, los cines, los teatros, graderías, templos, etc. (GDNT, 1994). Entre sus ocupantes básicamente destacan los estudiantes (generalmente niños y jóvenes), los docentes, personal administrativo y otros empleados. También influye como una variable determinante, el costo social asociado a su inmovilización, así como el costo de reposición de daños, normalmente por encima de lo que costaría reponer edificaciones convencionales.

c. Edificaciones Gubernamentales o Municipales de importancia.

Representan los centros neurálgicos de planificación, coordinación y administración para la gestión de la emergencia sísmica. En ellos se gerencia la acción de los planes de emergencia y constituyen finalmente los puntos de convergencia para afrontar las consecuencias debidas a la crisis sísmica. De manera que su clasificación como edificaciones esenciales, obedece a los aspectos logístico y estratégico.

d. Estaciones de bomberos, de policía y cuarteles.

El servicio prestado por el personal de bomberos, policía y militares, constituye sin duda alguna, la base de cualquier programa de atención de emergencia debido a una crisis sísmica. Constituyen el brazo ejecutor de los planes de emergencia para la atención y protección de la población afectada y la propiedad privada. En tal sentido, es determinante que dichas instalaciones permanezcan en condiciones de prestar el servicio que les sea encomendado, razón por la cual se consideran edificaciones esenciales, cuyo funcionamiento en condiciones de emergencia o crisis sísmica es vital para paliar las consecuencias inherentes de un desastre natural.

e. Centros de asistencia primaria en caso de emergencia como defensa civil, protección civil y primeros auxilios, entre otros.

Hoy por hoy, estas instituciones, al igual que las citadas en el punto anterior, juegan un papel preponderante en los planes de emergencias sísmica por lo que su clasificación como edificaciones esenciales se justifica por la función social que desempeñan.

f. Otras edificaciones esenciales.

Existe otra gran cantidad de edificaciones que albergan instalaciones y/o dependencias cuyo funcionamiento en condiciones de emergencia o crisis sísmica es vital para afrontar las consecuencias inherentes a una catástrofe sísmica. Entre ellas destacan, las edificaciones donde operan centrales eléctricas, de telégrafo, teléfono, radio, televisión, plantas de agua potable y de bombeo, centros de control de tráfico aéreo y marítimo, estaciones ferroviarias, garajes para vehículos de emergencia, en fin, todas aquellas donde funcionen instalaciones destinadas a prestar servicios de telecomunicación, transporte, generación y distribución de energía, suministro y tratamiento de agua y alimentos. Estas constituyen, de alguna manera, servicios complementarios a las líneas vitales y su funcionamiento es fundamental en la atención de una crisis sísmica.

3.2.3. Las edificaciones esenciales en las normas sísmicas

Los códigos de diseño sísmico enfocan la clasificación de las edificaciones según su importancia, uso y riesgo de fallo. En algunos casos, la descripción es exhaustiva, minuciosa, taxativa, mientras que en otros, la descripción es somera, genérica y si se quiere ambigua. Algunos usos específicos se clasifican de manera diferente en los diversos códigos, sin embargo, prácticamente todos coinciden en destacar a las instalaciones de la salud como el prototipo de las edificaciones esenciales.

Siguiendo la definición empleada en algunos de los principales códigos sísmicos existentes (IAEE, 1996) y las tendencias propuestas por el Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) es posible identificar las siguientes categorías generales:

. Edificaciones de extraordinaria importancia o de seguridad crítica

Edificaciones donde pequeños daños pueden dar lugar a grandes catástrofes. Aquellas de importancia estratégica o cuyo fallo puede provocar cuantiosas pérdidas humanas, económicas e inducir catastróficos daños adicionales. En esta categoría destacan, las plantas nucleares, los depósitos de materiales tóxicos, explosivos o inflamables, los centros que utilicen materiales radiactivos, entre otros. El diseño de este tipo de edificaciones generalmente es objeto de normativas particulares y criterios específicos (USNRC, 1997), que escapan del alcance de los códigos de diseño sísmico convencionales, los cuales normalmente están orientados al diseño de edificaciones de comportamiento tipificable.

. *Edificaciones esenciales*, riesgosas o de importancia especial

Además de las instalaciones esenciales descritas en el apartado anterior (hospitales, escuelas, estaciones policiales, de bomberos, centros de control de emergencia, centros de comunicación, etc.), también se incluyen dentro de esta categoría como instalaciones riesgosas, aquellas que contienen grandes cantidades de material peligroso, que puede ser contenido dentro de los límites de las instalaciones y cuyo impacto público es mínimo (SEAOC, 1995). También se incluyen las edificaciones de uso público o privado, densamente ocupadas ocasionalmente o en forma temporal, tales como graderías, cines, teatros, salas de concierto, edificios con altas capacidades de ocupación, cárceles, etc.

. Edificaciones convencionales o de importancia ordinaria.

Tradicionalmente los códigos sísmicos dirigen su atención a este tipo de edificaciones. Constituyen las instalaciones comunes o básicas que no se clasifican como instalaciones críticas, esenciales o riesgosas. En dicho grupo se encuentran las edificaciones de uso público o privado de baja ocupación, destinadas a uso residencial, viviendas, oficinas, comercio, hoteles, bancos, restaurantes, museos, librerías, almacenes, depósitos, plantas e instalaciones industriales, estacionamientos, etc.

. Edificaciones de importancia secundaria.

Edificaciones cuyo colapso no representa riesgo de pérdida de vidas humanas o interrupción de servicios, en general construcciones aisladas o provisionales, no destinadas a la habitación o al uso público, aquellas no clasificables en los grupos anteriores y cuyo colapso no pueda causar daños a edificaciones de otros grupos. Este tipo de edificaciones generalmente está exento de requerimientos sismorresistentes.

3.3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS EDIFICACIONES ESENCIALES

A continuación se presenta una comparación sobre algunas características de edificaciones destinadas a diferentes usos. En particular se destaca los usos residencial, educacional y hospitalario, con el objeto de ilustrar las significativas diferencias que justifican un tratamiento diferencial en cuanto a las consideraciones de riesgo asociado (Safina, 1998).

3.3.1. Densidad de ocupantes para diferentes horarios

La Tabla. 3.1., presenta la densidad media de ocupantes, expresada en número de personas por cada 100 metros cuadrados de planta útil, para edificaciones destinadas a diferentes usos, en dos horarios diferentes, las 3:00 p.m. y 3:00 a.m. (ATC-13, 1985).

Tabla 3.1. Densidad de ocupantes para diferentes horarios

<i>Descripción uso de la edificación</i>	<i>No. Personas/100m²</i>	
	<i>3:00 p.m.</i>	<i>3:00 a.m.</i>
Residencial	1.2	3.1
Educación	20.0	0.5
Gubernamental	4.0	--
Servicios Emergencia (Bombero, Policía)	3.0	--
Hospital	5.0	2.0

Se aprecia el significativo incremento de la densidad de ocupantes que sufren las edificaciones educacionales en los horarios de actividad escolar respecto a la densidad de ocupantes de los otros usos. También destaca cómo durante los horarios diurnos se incrementa sensiblemente la densidad de ocupantes de los hospitales, edificaciones gubernamentales y servicios de emergencia, respecto al uso residencial.

Estas cifras se refieren a valores medios en condiciones ordinarias de operación, sin embargo, una interesante comparación de la utilización de los servicios de emergencia y

salud, antes y después del sismo de Northridge del 17/01/1994 (Durkin, 1996), demuestra un abrupto incremento en la demanda de servicios médicos asistenciales. A continuación se resumen algunos valores de interés de la citada referencia, determinados sobre la base de 15 salas de emergencia del Valle de San Fernando que participaron en la atención de la emergencia sísmica;

- De un promedio de 700 a 800 visitas/día (antes del sismo), la demanda aumentó a 2.300 visitas/día (después del sismo).
- Sólo en el servicio de traumatología/ortopedia, de un promedio de 120 casos/día (antes), la demanda aumentó a 1.500 casos para el día 17/01, 500 casos para el día 18/01, 250 casos para el día 19/01 y solo a partir del día 30/01 se regresó a una situación normal.
- Por Gastroenteritis y otras enfermedades contagiosas, de un promedio de 80 casos/día (antes), se mantuvo dicha media por 6 días y a partir del 23/01, la demanda aumentó hasta 200 casos/día.
- Durante las siguientes 24 horas al evento sísmico, los problemas médicos tratados en las salas de emergencias se incrementaron según; heridos leves, entre 50 a 75%; problemas cardiovasculares, entre 6 a 15%; problemas respiratorios, hasta un 10%.

3.3.2. Distribución de equipamiento y/o contenido

La Tabla 3.2., presenta el valor medio de equipamiento y/o contenido como porcentaje del valor base del edificio, para edificaciones destinadas a diferentes usos. Entre dicho equipamiento y/o contenido se destaca el residencial propiamente dicho, oficina, eléctrico, mecánico, alta tecnología, así como vehículos (ATC-13, 1985).

Tabla 3.2. Distribución de equipamiento y/o contenido

<i>% Equip. y/o conten.</i>	<i>Residencial</i>	<i>Educación</i>	<i>Guberna-Mental</i>	<i>Servicios Emergencia</i>	<i>Hospital</i>
Residencial	30	--	--	5	--
Oficina	--	20	25	20	15
Eléctrico	2	5	2	5	15
Mecánico	2	5	2	5	70
Alta Tecnología	--	5	5	20	80
Vehículos	15	10	--	25	5
Total	49	45	34	80	185

Se observa una diferencia sustancial entre las proporciones de equipamiento y/o contenido según el uso al cual se destine la edificación. Destaca por su significativa proporción el contenido de tipo mecánico y de alta tecnología presente en los hospitales, respecto a los otros usos. Asimismo, que el contenido de los hospitales representa prácticamente el doble (185%) del valor base de la edificación.

3.3.3. Impacto por fallo de servicios

La Tabla 3.3., presenta el factor de impacto por fallo de servicios sobre la funcionalidad de la edificación. Este factor se evalúa en un rango que va desde 0 (sin impacto) hasta 1 (impacto total) y cuantifica el grado de dependencia que tiene una instalación al funcionamiento de un determinado servicio (ATC-13, 1985).

Tabla 3.3. Impacto por fallo de servicios

<i>Servicio</i>	<i>Residencial</i>	<i>Educación</i>	<i>Hospital</i>
Aguas Blancas	0.4	0.1	0.8
Aguas Servidas	0.5	0.2	0.8
Electricidad	0.2	0.0	0.8
Gas	0.2	0.0	0.4
Teléfono	0.1	0.0	0.2
Radio/TV	0.0	0.0	0.0
Vialidad de acceso	0.2	0.2	0.9

Se observa cómo para el caso de hospitales es fundamental el funcionamiento de los servicios sanitarios de aguas blancas, aguas servidas y el servicio de electricidad. Además es determinante la vialidad de acceso, pues estos servicios son indispensables para garantizar su función. Este hecho pone de manifiesto la estrecha relación y/o interdependencia que existe entre las líneas vitales y las edificaciones esenciales.

3.3.4. Costo estimado de reposición de daños

La Tabla 3.4., presenta el costo estimado de reposición de daños debido a sismos, en USD (US Dólares) por metro cuadrado de construcción, para edificaciones destinadas a uso residencial, educacional y hospitalario. Este costo estimado se expresa como un rango y se ha determinado en base a los costos medios por metro cuadrado de construcción existentes en California para el año 1985 (ATC-13, 1985). Se aprecia una diferencia sustancial entre el costo de reposición asociado a un hospital comparado con el de una edificación educacional o residencial, representando prácticamente el doble de esta última.

Tabla 3.4. Costo estimado de reposición de daños

<i>USD/m²</i>	<i>Residencial</i>	<i>Educación</i>	<i>Hospital</i>
Costo Reposición	500 – 600	600 – 850	900 - 1000

La Tabla 3.5., muestra de manera cualitativa, la importancia relativa de los costos de reposición de daños en las instalaciones esenciales y líneas vitales, en términos de costos directos o indirectos (Ho et al., 1995).

Tabla 3.5. Importancia relativa de los costos de reposición de daños en las instalaciones esenciales y líneas vitales

<i>Instalaciones esenciales/líneas vitales</i>	<i>Costo directo</i>	<i>Costo social (corto plazo)</i>	<i>Costo social (largo plazo)</i>	<i>Pérdida fiscal</i>
Hospital	A	A	A	M
Estación Policía	B	A	A	B
Estación Bomberos	B	A	A	B
Escuela	B	A	M	B
Aeropuerto	A	A	A	A
Estación ferrocarril	B	A	M	A
Refugios	M	A	M	A
Tuberías Agua	B	A	A	M
Tubería Gas	B	A	A	M
Línea Telefónica	B	A	A	M
Línea Eléctrica	B	A	A	M
Autopistas	B	M	M	M
Línea Ferrocarril	B	M	M	M

A = Alta - M = Media - B = Baja

3.4. ASPECTOS NORMATIVOS

Si bien existe consenso en la mayoría de los códigos de diseño sísmico en reconocer que las edificaciones esenciales son instalaciones a las que debe prestarse atención especial, su tratamiento no se hace de manera uniforme. En estos códigos, se encuentran decisiones implícitas que pretenden garantizar un desempeño eficiente durante un sismo. Entre estas, vale la pena mencionar aquellas relacionadas con la filosofía de diseño, la asignación de los factores de importancia, las medidas de control de los desplazamientos y finalmente, las medidas orientadas a la protección de componentes no estructurales.

3.4.1. Filosofía de Diseño

La mayoría de los códigos de diseño sísmico establecen como filosofía general de diseño sismorresistente que la seguridad de las vidas humanas es la consideración más importante en el diseño de un edificio (ATC 3-06, 1978). En este sentido, los requisitos y recomendaciones de los códigos pretenden dar prescripciones de diseño que permitan a la mayoría de edificios cumplir con los siguientes lineamientos:

- a. Resistir sin daño sismos pequeños.
- b. Resistir sismos moderados sin que haya daño estructural de importancia, siendo admisible daños en elementos no estructurales.
- c. Resistir un sismo fuerte sin falla grave del sistema estructural del edificio, sus miembros componentes o equipos, manteniendo la seguridad a la vida. *Además deben disponerse de criterios de diseño que le permitan a ciertas instalaciones esenciales permanecer en operación durante y después del sismo para la seguridad y bienestar del público en caso de una emergencia.*

De esta manera, se pretende garantizar en la mayoría de estructuras un adecuado margen de seguridad y una razonable economía en la construcción a costa de tolerar cierta cantidad de daño como consecuencia de un terremoto.

Aunque esta filosofía está completamente de acuerdo con el concepto de diseño exhaustivo y ha sido aceptada prácticamente por toda la comunidad internacional, las actuales metodologías de diseño contempladas en los códigos sísmicos no llegan a alcanzar sus metas y objetivos (Bertero, 1992). Los criterios y metodologías de diseño propuestos están orientados fundamentalmente a prevenir la pérdida de vidas humanas como consecuencia del colapso estructural de las edificaciones, basándose en un terremoto de diseño asociado a un estado límite último, de seguridad o supervivencia. En esta circunstancia, el edificio no debería colapsar o sufrir daño serio capaz de poner en peligro vidas humanas, sin embargo, se puede tolerar cierto nivel de daños estructurales y no estructurales.

La práctica de diseño de edificaciones que sigue la mayoría de los códigos sísmicos, no está pensada para limitar el daño, mantener funciones y en última instancia, facilitar la reparación, pues esto forma parte del llamado diseño exhaustivo, donde no es suficiente especificar el terremoto de diseño asociado a un nivel de seguridad o supervivencia, sino que se requiere especificar otros terremotos de diseño, asociados a otros niveles de desempeño, que complementen así los requerimientos de la citada filosofía general de diseño sismorresistente (Bertero, 1992).

Para satisfacer los márgenes de seguridad impuestos en estructuras que pueden tolerar cierto grado de daño, como podrían ser las edificaciones convencionales, es necesario definir al menos dos de los siguientes terremotos característicos:

1. Terremoto de diseño asociado al nivel de servicio durante el cual, el sistema completo (suelo, cimientos, superestructura y componentes no estructurales) deberían permanecer sin daño alguno; es decir, en el rango elástico.
2. Terremoto de diseño asociado al nivel funcional u operacional durante el cual, el sistema completo podría sufrir algún daño no estructural e incluso estructural, pero sin interrumpir su funcionamiento u operación.
3. Terremoto de diseño asociado al nivel de seguridad o supervivencia durante esta condición extrema, el edificio no debería sufrir daño que pueda poner en peligro las vidas humanas, ni colapsar.

En las edificaciones esenciales, es necesario incrementar los márgenes de seguridad impuestos para las edificaciones convencionales, independientemente de las implicaciones económicas asociadas. Dichas instalaciones deberían diseñarse de manera tal que se garantizase su funcionamiento después de pequeños, moderados y grandes terremotos, de alta, ocasional y baja frecuencia, respectivamente. Ello implica que ante los diferentes niveles de movimiento esperados o terremotos de diseño, su respuesta debería permanecer prácticamente en el llamado rango elástico y por tanto, minimizados los daños sobre componentes estructurales y no estructurales, así como proteger los servicios críticos y los equipamientos especiales, para evitar la interrupción de la función de estas instalaciones y garantizar su funcionamiento en la atención de la crisis sísmica. En este sentido, la tendencia actual está orientada al llamado diseño por multi-objetivo según el cual, las edificaciones deben alcanzar determinados niveles de desempeño esperado para diferentes niveles del movimiento sísmico (SEAOC, 1995; Freeman et al., 1984; ATC-40, 1996).

3.4.2. Factor de importancia

Como una medida para incrementar el margen de seguridad asociado al diseño de edificaciones, la mayoría de códigos (IAEE, 1996) exigen la aplicación del llamado *Factor de Importancia*, que depende de la importancia, uso, riesgo de fallo y categoría de ocupación de la edificación. Su valor varía entre la unidad, para instalaciones que pertenecen al grupo de edificaciones convencionales o de importancia ordinaria, hasta valores de 1.6, es decir, incrementando la acción sísmica hasta un 60%, para las edificaciones esenciales (Grases, 1991). Este factor pretende incrementar o aumentar el valor de la acción sísmica de diseño como estrategia para incrementar el margen de seguridad asociado a estas edificaciones. Su selección es independiente de la zonificación sísmica y de las eventuales consecuencias catastróficas de las posibles fallas. La Tabla. 3.6., presenta el factor de importancia asignado por diferentes códigos de diseño sísmico para edificaciones destinadas a uso residencial, educacional y hospitalario (IAEE, 1996).

La variabilidad del factor de importancia asignado a edificaciones de uso residencial, educacional y hospitalario pone de manifiesto la falta de consenso por parte de la comunidad internacional en el tratamiento de las edificaciones esenciales. Sin embargo, se plantean las siguientes preguntas; ¿esta estrategia es apropiada y suficiente para dotar de la seguridad requerida a estas edificaciones?, ¿son estos valores suficientes o debemos recurrir a otros criterios?. Lo cierto es que la experiencia de sismos ocurridos nos muestra cómo edificaciones esenciales diseñadas bajo esta óptica han quedado fuera de servicio,

incluso ante sismos de moderada intensidad, como sucedió en el Sismo de Northridge (Goltz, 1994).

Tabla 3.6. Factor de importancia contemplado en los diferentes códigos, según el uso

<i>Factor I¹</i>	<i>Residencial</i>	<i>Educación</i>	<i>Hospital</i>
Colombia	1.0	1.1	1.2
Chile	1.0	1.2	1.2
Cuba	1.0	1.25	1.25
Venezuela	1.0	1.30	1.30
EEUU (UBC)	1.0	1.0	1.25
Francia	1.0	1.14	1.28
España	1.0	1.3	1.3
New Zealand	1.0	1.2	1.3
Italia	1.0	1.2	1.4
Eurocode	1.0	1.2	1.4
México	1.0	1.5	1.5

Esta estrategia es muy fácil de implementar y permite abordar el diseño de las edificaciones esenciales a partir de la información requerida para el diseño de las edificaciones convencionales. Sin embargo, debe tenerse presente que detrás de esta estrategia hay una inconsistencia cuando se trata de edificaciones de un mismo grado de importancia ubicadas en diferentes zonas sísmicas, ya que tiende a dotar de mayor margen de seguridad a las edificaciones ubicadas en las zonas de menor riesgo sísmico (Grases, 1991). De hecho, la aplicación del factor de importancia puede interpretarse como una reducción de la probabilidad de excedencia del sismo de diseño en un período de tiempo considerado como la vida útil media de la edificación y dicha reducción tiende a ser más pronunciada en zonas de menor riesgo sísmico.

3.4.3. Control de los desplazamientos

El diseño tradicional de edificaciones sometidos a sismos establece como estrategia la estimación de la acción sísmica como una fuerza de diseño que se traduce en desplazamientos compatibles con las propiedades mecánicas del sistema. Aunque este procedimiento está repleto de hipótesis simplificadoras e incertidumbres, constituye el fundamento del análisis y diseño sismorresistente reconocido en la actualidad y permite estimar los desplazamientos inelásticos de la estructura (Bertero y Bertero, 1992).

Sin embargo, la naturaleza del problema hace que entre las variables de diseño de interés, destaquen no solamente la resistencia de los elementos estructurales sino el comportamiento global de la estructura, que queda al margen de las metodologías tradicionalmente implementadas. En este sentido, los códigos de diseño imponen paralelamente controles para los desplazamientos como una medida para prevenir y/o acotar los daños en elementos no estructurales. De hecho, los grandes desplazamientos laterales ponen en peligro la seguridad, debido al daño que pueden inducir sobre los elementos no estructurales, sobre todo si estos están adosados o vinculados a la estructura y son susceptibles de sufrir daños por deformaciones excesivas de la misma.

¹ Algunos valores han sufrido cambios conforme a los nuevos códigos sísmicos, vigentes con posterioridad a la referencia consultada.

Partiendo de la premisa que el daño está asociado al valor del desplazamiento relativo inelástico de un nivel con respecto al inmediatamente anterior, conocido como *deriva de entrepiso* δ , los códigos de diseño sísmico establecen como estrategia de control la limitación de la *deriva normalizada* (FUNVISIS, 1998), entendida como el cociente de la deriva de entrepiso (δ) y la altura libre (Δh), a unos valores máximos permisibles que generalmente oscilan alrededor del 1%. Sin embargo, este límite depende estrechamente de la fragilidad y resistencia de los materiales y componentes de los elementos no estructurales. La Tabla. 3.7., presenta la deriva de entrepiso normalizada máxima, tolerada por los diferentes códigos de diseño sísmico para edificaciones (IAEE, 1996). Cuanto menor sea la deriva de entrepiso normalizada, más estricta es la exigencia de diseño.

Tabla 3.7. Deriva de entrepiso normalizada, contemplada en los diferentes códigos

<i>Código Sísmico</i>	<i>Deriva Entrepiso: $\delta / \Delta h$ (%)</i>
Colombia	1.5
Chile	0.3
EEUU (UBC)	0.5
Eurocode	1.0
Japón	0.5
México	0.6
New Zealand	2.0
Venezuela	1.5

Esta gran dispersión pone de manifiesto que independientemente de la diferencia en los materiales empleados, existe una importante falta de consenso en la comunidad internacional en cuanto a los controles de los desplazamientos. Por otra parte, las estrategias de diseño empleadas por la mayoría de códigos sísmicos de considerar la reducción de la fuerza debido al comportamiento inelástico solamente en relación con la deformación máxima alcanzada en cualquier instante del sismo o la máxima energía disipada en un ciclo, sin atender a su duración, hace que se dejen de lado factores tan importantes como los asociados a la fatiga progresiva de los materiales, la degradación de la rigidez, la disminución de la resistencia y el aumento progresivo de las deformaciones, así como otros menos previsibles como el nivel de degradación acumulado entre sismos sucesivos.

Conviene destacar que las medidas de control de los desplazamientos impuestas por la mayoría de códigos de diseño sísmico no diferencian según la clasificación de la edificación; es decir, estos controles se establecen por igual, independientemente del tipo de edificación, pues se parte del principio que para edificaciones esenciales, el factor de importancia impuesto cubre el requerimiento de seguridad. Sólo algunos códigos, como por ejemplo el reciente código sísmico de Venezuela (FUNVISIS, 1998), diferencian el límite de la deriva de entrepiso normalizada, según se trate de edificaciones convencionales, especiales o esenciales, lo cual aparentemente se convierte en una doble pero necesaria exigencia para las edificaciones de mayor importancia relativa.

3.4.4. Protección de componentes no estructurales

Los componentes no estructurales de una edificación sometida a movimientos sísmicos deben soportar los movimientos de la estructura y en algunos casos su seguridad se encuentra más comprometida que la misma estructura (Schiff y Tang, 1998). Sin embargo, la práctica convencional de diseño sísmico concede poca importancia a estos

elementos, hasta el punto que diversos códigos no incluyen normas específicas para su diseño. Entre estos componentes no estructurales destacan los equipos mecánicos y eléctricos, los elementos arquitectónicos, el propio contenido de la edificación y todos aquellos elementos que no forman parte del sistema estructural.

La experiencia de sismos pasados pone en evidencia que si se toma en consideración el costo de reposición de los componentes no estructurales dañados, la seguridad de los ocupantes de la edificación y transeúntes, la pérdida que implica la suspensión de la función de algún componente, la reducción de la capacidad de prestar el servicio, entonces se comprenderá la importancia de considerar el adecuado diseño sísmico de estos elementos (Goltz, 1994). Para las edificaciones esenciales, esta situación adquiere una relevancia especial ya que si se reconoce que la funcionalidad de la edificación es un aspecto fundamental para la atención de las emergencias sísmicas, y ésta se vincula directamente con el mantenimiento de funciones de todos y cada uno de sus componentes, equipamientos y cualquier otro elemento que pueda atender contra ella, entonces debe prestarse especial atención a la protección de los componentes no estructurales, pues su fallo puede conducir a la inutilización o colapso funcional del edificio (Bertero, 1992). En el caso particular de instalaciones de la salud, la alta proporción de equipamiento y/o contenido mecánico y de alta tecnología, indispensable para la atención de emergencias sanitarias y con un elevado valor económico, pone de manifiesto la imperativa necesidad de considerar adecuadamente y con la importancia que se merece el diseño sísmico de los componentes no estructurales presentes en las edificaciones esenciales.

Conviene clasificar los componentes no estructurales en función de su importancia relativa y probabilidad de fallo. Una revisión de los códigos de diseño (IAEE, 1996), permite establecer una primera clasificación de los elementos no estructurales en dos grupos: componentes arquitectónicos y componentes mecánicos y eléctricos.

- Componentes arquitectónicos:

Paredes, tabiques, divisiones y muros no estructurales.
Antepechos, parapetos, ornamentos, cornisas, chimeneas.
Conexiones de elementos prefabricados, paneles de vidrio.
Techos, cielos rasos, plafones.
Subestructuras en voladizo, apéndices.
Repisas, letreros, anuncios.

- Componentes mecánicos y eléctricos:

Equipos eléctricos de emergencia
Instalaciones contra incendio: detección, alarma y extinción.
Salas de máquinas, suspensión y guía de ascensores.
Sistemas de comunicación y emergencia.
Calderas, hornos, incineradores, calentadores.
Motores, transformadores, subestaciones.
Ductos, tuberías, bandejas eléctricas
Equipos aire acondicionado y/o calefacción, ventiladores.
Estanques a presión, estanques de almacenamiento, sistemas de tubería.
Paneles de control, estantes de baterías.

El análisis de la respuesta dinámica de los componentes no estructurales es un problema complejo que los códigos han pretendido resolver a través de fórmulas sencillas. Estas expresiones para cuantificar la fuerza sobre el elemento dependen fundamentalmente del peso del componente, su posición relativa en la estructura, el nivel de exposición de la edificación, la posible amplificación dinámica asociada a la interacción del componente con la estructura, la importancia del elemento y/o probabilidad de fallo del mismo, la importancia de la edificación, en fin, de una serie de variables que se han tratado de englobar en diversos coeficientes o factores para las llamadas partes de la estructura (ATC-3-06, 1978). El tratamiento que los códigos ofrecen al diseño de estos elementos presentan una diversidad de enfoques, clasificaciones y metodologías, más o menos complicadas, repletas de subjetividades y arbitrariedades, que conducen a resultados ambiguos e inconsistentes cuando se comparan (Soong, 1993). Sin embargo, todos coinciden en establecer una fuerza de diseño para el componente no estructural, formulada como una fuerza lateral estática equivalente aplicada en el centro de gravedad del componente analizado.

En la actualidad, la protección de los componentes no estructurales ha alcanzado tal nivel de importancia que en propuestas como las del ATC-40 (1996), la definición del nivel de desempeño esperado de la edificación está íntimamente vinculada al nivel de desempeño esperado de los componentes no estructurales que la integran (ATC-29-1, 1998).

En edificaciones esenciales y sobre todo en instalaciones médico-asistenciales, tales como hospitales, ambulatorios, etc., se evidencia un importante esfuerzo legislativo por parte de la comunidad internacional, en el sentido que se han impulsado leyes y reglamentos que persiguen la reducción de la vulnerabilidad sísmica de las instalaciones existentes con especial atención a la protección de componentes no estructurales, tales como las iniciativas impulsadas por "the Office of Statewide Hospital Planning and Development" (OSHDP) (Thiel et al., 1997; Staehlin, 1997), las acciones emprendidas por los gobiernos de Chile, Colombia, México y Perú para cumplir total o parcialmente con las recomendaciones emanadas de la Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud (OPS, 1999), el estudio de vulnerabilidad sísmica de estructuras importantes de la ciudad de Guayaquil, Ecuador (OPS, 1999), en fin, otras tantas iniciativas donde la atención sobre la vulnerabilidad sísmica de los componentes no estructurales juega un papel determinante.

3.5. RESUMEN Y DISCUSION

La revisión bibliográfica realizada pone de manifiesto el uso un tanto liberal y poco formal del concepto de *edificaciones esenciales*. Con excepción de muy pocas referencias, se nota la ausencia de una definición concreta, de allí la importancia de puntualizar el sentido bajo el cual se entiende este concepto en el contexto del presente trabajo. Se propone una definición bastante precisa, conforme con el espíritu que la mayoría de las referencias y normas pretenden darle, donde se destaca su carácter de instalación necesaria, crítica y vital para atender una emergencia sísmica.

La designación de una instalación como edificación esencial dependerá por tanto del papel que juegue en la atención de una emergencia sísmica. Desde este punto de vista, es evidente que los hospitales, las estaciones de bomberos, policías, centros de comunicación, centros de control de emergencia, entre otros, se reconozcan como claros ejemplos de

edificaciones esenciales; sin embargo, la dinámica que envuelve un escenario de emergencia sísmica hace que otro grupo de edificaciones, ya no de manera tan evidente, puedan jugar un papel determinante en la atención de la emergencia y que por tanto les merezca su designación como una edificación esencial. Este razonamiento pone de manifiesto que la lista de edificaciones esenciales que tradicionalmente proponen los códigos sísmicos no debe ser interpretada de una manera taxativa, sino que por el contrario, debe reconocerse la eventual participación que pudiese tener una instalación en la atención de una emergencia sísmica de acuerdo a los planes de emergencia existentes.

Una comparación de las principales características asociadas a los usos residencial, educacional y hospitalario, pone en evidencia significativas divergencias que justifican un tratamiento diferencial de estas instalaciones. Esta situación es reconocida por la mayoría de los códigos sísmicos, sin embargo, una revisión de las prescripciones específicas en esta materia, pone de manifiesto la falta de consenso en la comunidad internacional en cuanto al tratamiento de las mismas, lo cual debe ser objeto de revisión a los fines de crear una plataforma equivalente y homogénea para el tratamiento de las edificaciones esenciales. Más aún, las actuales metodologías de diseño contempladas en los códigos sísmicos no logran satisfacer enteramente las metas y objetivos implícitos en la filosofía de diseño, ya que están orientados fundamentalmente a prevenir la pérdida de vidas humanas y no están pensadas para limitar el daño y mantener funciones, situación que queda ratificada al revisar las evidencias de sismos ocurridos en las últimas décadas, donde un importante número de edificaciones esenciales diseñadas bajo esta óptica han quedado fuera de servicio, incluso ante sismos de moderada intensidad.

En este sentido, las actuales tendencias apuntan a una nueva concepción del diseño según la cual las edificaciones deben alcanzar determinados niveles de desempeño esperado para diferentes niveles del movimiento sísmico, en lo que se ha dado por llamar un diseño por multi-objetivo, donde la protección de componentes no estructurales juega un papel determinante en la definición de los criterios de diseño.