

Diseño de edificaciones de uso indispensable

Armando Palomino Infante M.Sc. Socio Fundador y Gerente General, P&P Proyectos



↑ Foto 1. Escuela elemental de Nakano después del Tsunami de Japón. Abril de 2011. TOMADO DE WIKIPEDIA

En el afán de disponer de edificios que sean utilizables durante y después de un sismo importante, y con fines de atender las emergencias ocasionadas por la acción de otros fenómenos naturales (huracanes y tsunamis, entre otros), muchos países han expedido normas de diseño y construcción sismo resistente. En nuestro caso, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y sus decretos reglamentarios, contiene los requisitos específicos para garantizar la adecuada operación de este tipo de edificaciones.

Se define a las *Edificaciones Indispensables* como aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alternativo. Tal es el caso de hospitales de niveles de complejidad 2 y 3 y centrales de operación y control de líneas vitales. Se espera que en este tipo de edificaciones el daño producido por un sismo sea mínimo, reparable y no tan severo que inhiba la operación y ocupación inmediata y continuada del edificio.

En el caso particular del Reglamento Colombiano NSR-10, el capítulo A.5, clasifica a las edificaciones, dependiendo de su grado de importancia ante la ocurrencia de un sismo, dentro de cuatro grupos de uso. Para el caso de este artículo interesa el Grupo IV – Edificaciones Indispensables, e incluye:

- Todas las edificaciones que componen hospitales, clínicas y centros de salud que dispongan de servicios de cirugía, salas de cuidados intensivos, salas de neonatos y/o atención de urgencias
- Todas las edificaciones que componen aeropuertos, estaciones ferroviarias y sistemas masivos de transporte
- Centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión
- Edificaciones designadas como refugios para emergencias
- Centrales de aeronavegación y hangares de aeronaves de servicios de emergencias
- Edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos
- Edificaciones que contengan agentes tóxicos o dañinos para el público
- Estructuras que alberguen plantas de generación eléctrica de emergencias
- Tanques y estructuras que formen parte de sistemas contra incendio
- Accesos peatonales y vehiculares de las edificaciones antes mencionadas



Dentro de este tipo de edificaciones se clasifican aquellas que, por su función, tamaño y tipo de servicio, tienen el potencial de causar lesión a los seres humanos, daños importantes a la propiedad o interrupciones a las actividades socioeconómicas vitales de un país si se ven afectadas o destruidas, o incluso, si se altera su funcionamiento.

↑ Foto 2. Camión de bomberos atendiendo terremoto de Haití. Enero 2010.
CORTESÍA UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME

La clasificación de tales edificaciones, según la naturaleza de su ocupación, está basada en reglamentos extranjeros como el ASCE/SEI 7/05 (*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*¹). Esta clasificación varía desde el Grupo de Uso I hasta el Grupo de Uso IV, en la que el Grupo de Uso I representa edificios o estructuras con bajo riesgo de pérdida de vidas humanas en caso de fallas y el Grupo de Uso IV, que representa las estructuras esenciales. A cada edificación le debe ser asignada la categoría más alta aplicable desde los Grupos de Uso. Cuando los edificios tengan usos múltiples, se debe estudiar cuidadosamente la relación existente entre cada uno de ellos para las diferentes partes de la edificación o de su estructura, así como la independencia de los sistemas estructurales para estas partes. Cada unidad estructural independiente deberá tener el Grupo de Uso más alto que le corresponda.

Además de lo anterior, los países crean incentivos para aquellos propietarios o entidades gubernamentales que actualicen las construcciones existentes a las nuevas normas de construcción, que se mantienen en evolución constante. A manera de ejemplo, en Estados Unidos se realiza una actualización cada 3 años y en Colombia cada 12 años, en promedio. También se obliga a realizar análisis de vulnerabilidad sísmica estructural y reforzamiento para las Edificaciones Indispensables existentes en un lapso determinado de tiempo. Para el caso del NSR-10, según la ley 400 de 1997, actualizada por la ley 1796 de 2016, a las construcciones existentes, cuyo uso las clasifique como Edificaciones Indispensables y de Atención a la Comunidad, localizadas en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, su vulnerabilidad sísmica debe evaluarse en un lapso no menor de 3 años contados a partir de la vigencia del reglamento. Estas edificaciones deberían ser intervenidas o reforzadas -en caso de ser deficientes- en un lapso no mayor a 6 años, con el fin de llevarlas a un nivel de seguridad sísmica equivalente al de una edificación nueva diseñada y construida de acuerdo con los requisitos de la ley y su reglamento vigente.

Algunas de las modificaciones técnicas y científicas que sufrió el reglamento colombiano vigente incluyen ciertas edificaciones del Grupo de Uso III dentro de las Indispensables, además de las de Grupo de Uso IV, que deben cumplir los requisitos de verificación para el umbral de daño del capítulo A.12. Las edificaciones escolares se incluyen ahora dentro de del Grupo de Uso III, de atención a la comunidad; es decir, tuvieron un cambio de Grupo de Uso, pues en el NSR-98 se encontraban clasificadas dentro del Grupo de Uso II. Con el fin de ser más conservadores en el diseño sísmo resistente de las edificaciones clasificadas como Indispensables,

1: Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y Otras Estructuras

los reglamentos modernos de construcción utilizan los *coeficientes de importancia*. El coeficiente de importancia modifica el espectro elástico de aceleraciones sísmicas de diseño, y con ello las fuerzas de diseño, de acuerdo con el Grupo de Uso que se le asigne a cada edificación, de manera que se tenga en cuenta que –para las edificaciones de ocupación especial, atención a la comunidad e Indispensables– deben considerarse valores de aceleración sísmica con menor probabilidad de ser excedidos que aquella del 10% en un lapso de 50 años (como se considera para edificaciones de ocupación normal). Dichos coeficientes de importancia fueron actualizados en el reglamento NSR-10 respecto a la NSR-98. A manera de ejemplo, el coeficiente de importancia del Grupo de Uso IV – Edificaciones Indispensables, era de 1.3 y en la actualidad es de 1.5, lo cual incrementa de manera automática y directa las fuerzas de diseño sísmico en un 15%, logrando diseños aparentemente “más seguros”. Los coeficientes de importancia varían desde 1.0 para el Grupo de Uso I (estructuras de ocupación normal) y hasta 1.5 para el Grupo de Uso IV (estructuras indispensables). Esto significa que, para lograr un diseño más “conservador”, las fuerzas sísmicas de diseño de las edificaciones indispensables son 50% mayores que las de una estructura de ocupación normal.

Nuestro reglamento dedica un capítulo especial a los requisitos de análisis y diseño estructural para edificaciones indispensables de los Grupos de Uso III y IV. Ese capítulo contiene los requisitos adicionales a los incluidos en los demás capítulos del Título A que se deben cumplir para el diseño y construcción sismo resistente de las edificaciones pertenecientes al Grupo de Uso IV y a las pertenecientes a literales a, b, c y d del Grupo de Uso III (estaciones de policía, bomberos, entre otros) con el fin de garantizar que puedan operar durante y después de la ocurrencia de un sismo. Para las edificaciones incluidas en los literales e y f del Grupo de Uso III –es decir, aquellas del Grupo de Uso II en las que el propietario desee contar con seguridad adicional y aquellas otras que la administración municipal, distrital, departamental o nacional designe como tales– queda a decisión del propietario o autoridad competente definir si se requiere diseñarlas según los requisitos especiales del Capítulo A.12.

Utilizando las especificaciones de este capítulo, la determinación de la operatividad de la edificación después de la ocurrencia de un sismo se puede realizar verificando que la edificación se mantiene dentro del rango elástico de respuesta estructural al verse sometida a unas solicitaciones sísmicas que corresponden al inicio del daño o umbral de daño. Además de todos los pasos requeridos en el diseño convencional de una edificación -relacionados con el predimensionamiento, la evaluación de las solicitaciones estructurales, la obtención del nivel de amenaza sísmica, la definición

de la geometría estructural y los materiales a ser empleados, la revisión de irregularidades geométricas, los procesos de análisis y diseño estructural, la verificación de derivas y el diseño de los diferentes elementos estructurales– para las Edificaciones Indispensables se realizan ciertos pasos de verificación adicionales como la determinación de los movimientos sísmicos del umbral de daño, la obtención de fuerzas sísmicas del umbral de daño, el análisis de la estructura para las fuerzas sísmicas correspondientes al umbral de daño, todo ello por medio de modelos matemáticos, y por último, se comprueba que las deflexiones y derivas para el umbral de daño no excedan los valores establecidos por el reglamento. Esto se debe cumplir tanto para la estructura global como para los elementos estructurales y no estructurales, garantizando que todos se mantengan dentro del rango elástico de respuesta.

↓ Foto 3. Daños en elementos no estructurales, estructura operativa. México 2017. CORTESÍA ADAM JONES



Como la intención es mitigar toda vulnerabilidad que pueda existir al combinar la amenaza sísmica con el riesgo de tener construcciones que no cumplan a cabalidad con las disposiciones de los reglamentos de construcción, no solamente es necesario diseñar, sino planear y construir de manera adecuada las Edificaciones Indispensables. Para obtener mayor grado de seguridad, y de acuerdo con el artículo 20 de la ley 400 de 1997, las edificaciones de los Grupos de Uso III y IV, independientemente del área que tengan, deben someterse a una Supervisión Técnica Independiente. Cabe recordar que, en el caso particular de la mitigación de daños de edificaciones indispensables, este trabajo se basa no solo en el deseo de reducir los enormes costos de reparación y reconstrucción de este tipo de estructuras - y de los equipos que en ellas se encuentran después de la ocurrencia de un sismo- sino en realizar acciones previas que a largo plazo reduzcan o eliminen el riesgo de pérdidas de vidas y de valor de la propiedad, garantizando el uso continuo de estas construcciones.

Plan de mitigación de riesgos

De esta manera se podría resumir todo el plan de mitigación de riesgos de edificaciones indispensables en los siguientes tres pasos:

1. Ubicación

Es la escogencia del sitio donde se va a construir la nueva edificación o de la edificación existente donde se van a albergar obras de usos indispensables. En este primer aspecto deben tenerse en cuenta temas como vías de acceso, estudios de remoción en masa y estudios de microzonificación sísmica particulares del sitio. Así mismo, en el caso de hospitales e instituciones educativas, la ubicación del proyecto deberá tener en cuenta la logística de transporte y movilidad de las ciudades, además de la cercanía con los núcleos sociales o comunidades que vayan a requerir de sus servicios.



↑ Foto 4. Tristemente en el sismo de Armenia, Colombia de 1999, fallecieron bomberos y se destruyeron camiones de bomberos sin estrenar por deficiencias estructurales en la estación de bomberos. Nunca se pudo atender la emergencia.

LA CRÓNICA DEL QUINDÍO

Adicionalmente, las estaciones de bomberos y de policía deberán estar distribuidas estratégicamente en las grandes zonas urbanas a fin de atender de manera adecuada las emergencias después de la ocurrencia de un fenómeno natural. Por esto los gobiernos deben determinar con antelación dónde se pueden y deben construir esta clase de estructuras evitando zonas con riesgos de deslizamientos o inundaciones, entre otros. De la misma manera, al contar con programas estatales de salud y educación, que están en continuo dinamismo, se debe ser muy cuidadoso en la selección de estructuras existentes a las que se quiere cambiar de uso por el de hospitales o instituciones educativas. Dichas edificaciones requieren un estudio de vulnerabilidad sísmica y reforzamiento estructural de acuerdo con lo exigido en el capítulo A.10 del reglamento NSR-10.

2. Diseños

El segundo aspecto tiene que ver con el diseño de la edificación. Al hablar de diseño se hace referencia a todos los diseños técnicos que requiere una edificación típica dentro de las Indispensables. Es decir, incluye diseños estructurales, geotécnicos, mecánicos, eléctricos, hidrosanitarios y de seguridad y control humano que, interrelacionados entre sí bajo una adecuada coordinación, pueden lograr que una edificación sea realmente operable durante y después de la ocurrencia de un sismo importante. En estos diseños se deben tener en cuenta todos los planos de instalaciones y de elementos no estructurales, que son por lo general los elementos que entorpecen la operación de las edificaciones después de la ocurrencia de sismos de importancia. Por esta razón el NSR-10 exige en su título A.9 un comportamiento especial de los elementos no estructurales para las edificaciones indispensables y de atención a la comunidad. Se exige mayor grado de desempeño sísmico a los elementos no estructurales de las edificaciones de los Grupos de Uso III y IV.

Ante la ocurrencia del sismo de diseño, el comportamiento sísmico de los elementos no estructurales de la edificación debe ser *superior* para las estructuras de Grupo de Uso III y IV, en el cual es mínimo el daño que se presenta en los elementos no estructurales y no interfiere con la operación de la edificación debido a la ocurrencia del sismo de diseño. Para los Grupos de Uso I y II, los grados de desempeño deben ser *bueno* y *bajo*, respectivamente, allí donde pueden presentarse daños en los elementos no estructurales que sean reparables y que tengan alguna interferencia con la operación de la edificación, y daños graves en los elementos no estructurales que incluso no sean reparables, pero sin desprendimiento o colapso, respectivamente.

Según la normatividad colombiana, la responsabilidad del diseño sísmico de los elementos no estructurales recae en los profesionales bajo cuya dirección se elaboran los diferentes diseños particulares. En los casos en que los diseños especifican elementos no estructurales cuyo suministro e instalación se realiza por parte de su fabricante, el diseñador se debe limitar a especificar, en sus planos, memorias o especificaciones, el grado de desempeño sísmico que deben cumplir tales elementos no estructurales. La responsabilidad de la coordinación entre los distintos diseños que forman parte de diferentes sistemas recae en el profesional que figura como diseñador arquitectónico en la solicitud de licencia de construcción ante la curaduría urbana respectiva. La responsabilidad del profesional que realiza la coordinación es inmensa y debe tomar todas las precauciones necesarias para que el diseño resultante de cada uno de los elementos no estructurales, al ser instalados o construidos en edificaciones indispensables, que sean realizados por profesionales diferentes, no afecte el desempeño de elementos no estructurales diseñados por otros profesionales.

3. Construcción y Supervisión Técnica

Este aspecto es tan importante como los anteriormente descritos, pues por bien planeada y diseñada que esté una construcción, la estructura y sus elementos no estructurales durante y después de un sismo se comportarán según como se realizó la construcción. Por esto la legislación colombiana es muy clara en exigir ciertos requisitos a las empresas constructoras y a las firmas que prestan el servicio de supervisión técnica independiente. Estos requisitos se hicieron aún más exigentes después del colapso en Medellín del edificio Space bajo su peso propio, sin la ocurrencia de sobrecarga o sismo alguno. Para tal efecto, en julio de 2016 se promulgó la ley 1796, y posteriormente sus decretos reglamentarios 945 de 2017, 1203 de 2017 y el 282 de 2019. La ley 1796 introdujo la figura de revisor independiente de diseños y reglamentó de manera más restrictiva la supervisión técnica independiente de los proyectos. De esta manera se incrementan la seguridad de las edificaciones y la calidad de su construcción, se fortalece la función pública que ejercen los curadores urbanos y se asignan funciones especiales a la Superintendencia de Notariado y Registro. El decreto 945 modificó parcialmente el NSR-10 y reglamentó el alcance de los oficios de revisión independiente de diseños y supervisión técnica independiente de obra, reglamentando lo referente a calidades, experiencia, idoneidad y acreditación de los profesionales comprometidos en las labores de diseño, supervisión técnica y construcción de proyectos en Colombia. El decreto 1203 de 2017



↑ Foto 5. Satisfacción de la atención a la comunidad luego de un desastre. Trabajo conjunto entre entidad de salud y de seguridad.
FLICKR - MTAPHOTOS

modifica parcialmente el decreto 1077 de 2015, Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, en lo que se relaciona con el estudio, trámite y expedición de licencias de construcción y la función pública que desempeñan los curadores urbanos. Finalmente, en el Decreto 282 de 2019, se regulan medidas adicionales de protección y garantía de las construcciones y se reglamenta la obligación del constructor de resarcir perjuicios patrimoniales, aunque infortunadamente este último decreto solo aplica para los compradores de vivienda nueva. Sin embargo, para las construcciones comunes de nuestro país, existe una gran responsabilidad y sanciones importantes impuestas a constructores o propietarios de proyectos que adelanten la construcción de obras sin sujetarse a las prescripciones, normas y disposiciones de las leyes 400 de 1997 y 1796 de 2016 y todos sus decretos reglamentarios. Ellos podrán ser sancionados con multas de un salario mínimo mensual por cada 200 m² de área construida de la edificación, por cada mes o fracción que transcurra sin que se apliquen las medidas correctivas, o afrontar la demolición de la construcción o la porción de ella que viole lo establecido en la ley y sus reglamentos. Lo anterior sin perjuicio de las demás acciones civiles y penales a que haya lugar.

Además de lo anterior, el constructor que suscribe la licencia de construcción debe cumplir con recopilar los diferentes diseños de elementos no estructurales, con sus características y documentación, para presentarlos en una sola memoria ante la curaduría urbana. Los diferentes diseños de los elementos no estructurales deberán ser firmados por el Constructor Responsable que suscribe la licencia, asumiendo así que se hace responsable de que los elementos no estructurales se construyan de acuerdo con lo diseñado y cumplan el grado de desempeño especificado. Él y el supervisor técnico independiente son los



↑ Foto 6. Render Centro Cívico de la Universidad de los Andes. Bogotá - Edificación de Atención a la Comunidad Sismicamente Aislado en la Base-.
CORTESÍA CHRISTIAN UNDURRAGA Y KONRAD BRUNNER ARQUITECTOS

responsables finales de que los diseños de los elementos estructurales y no estructurales sean realizados adecuadamente y de que su construcción se ejecute de manera apropiada ciñéndose a los planos y especificaciones correspondientes. Dependiendo del tipo de elemento no estructural y del grado de desempeño exigido para las edificaciones indispensables, el reglamento define los diferentes tipos de anclajes o amarres requeridos para determinar el coeficiente de capacidad de disipación de energía, R_p , mínimo requerido. Así mismo define para cada tipo de elemento no estructural, los coeficientes de amplificación dinámica, a_p , y especifica los mismos valores para elementos hidráulicos, mecánicos o eléctricos.

Conclusión

Como conclusión, y a manera de referencia, los diseños de los diferentes sistemas –pero ante todo, los diseños estructurales y geotécnicos de edificaciones esenciales y de atención a la comunidad– son hoy en día en muchos países y seguramente en el futuro en el resto de países tenderán a ser realizados bajo la modalidad de Diseños Basados en Desempeño. Los códigos de diseño vigentes definen unos requisitos de diseño sísmico para reducir a un mínimo posible el riesgo de la pérdida de vidas humanas y defender al máximo el patrimonio del Estado y de los ciudadanos. Una edificación diseñada siguiendo los requisitos estándar del reglamento NSR-10 debe ser capaz de resistir temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero con algún daño eventual en los elementos no estructurales y un sismo fuerte con daños en elementos estructurales y no estructurales, pero sin colapso, aunque cabe recordar que estos son requisitos mínimos.

Sin embargo, la realidad es bien diferente para las edificaciones indispensables, como se ha reiterado a lo largo de este documento. Es por esto que seguramente,

y en un futuro muy cercano, en el diseño de edificaciones indispensables será obligatorio que todos sus estudios técnicos y componentes estén realizados y especificados bajo el criterio de diseños basados en desempeño con el fin de conocer cuál va a ser el comportamiento real de la edificación. De esta manera, para cumplir los requerimientos de uso ininterrumpido e inmediato, las edificaciones deberán ser diseñadas y construidas de acuerdo con un objetivo muy específico que apunte a un desempeño esperado. Estos objetivos de desempeño estructural nos indican qué tan bien puede comportarse la edificación para las necesidades de su uso diario. Estos procesos de diseño basados en desempeño incluyen modelación matemática detallada de las estructuras, simulación de la respuesta de las edificaciones ante la acción de cargas sísmicas extremas, estimación de pérdida de vidas humanas, pérdida de funcionamiento de los equipos, evaluación del daño en elementos estructurales y no estructurales e, incluso, puede llegar a brindar un estimativo de las pérdidas económicas ante un evento sísmico de importancia. Este proceso permite que el diseño de las edificaciones se vaya ajustando a diferentes niveles de riesgo aceptado y de comportamiento estructural deseado. Dentro de los objetivos de desempeño estructural utilizados hoy en día se encuentran los siguientes, dependiendo del impacto que se quiera tener en el uso de la edificación:

- Ocupación inmediata, donde hay mayor control del daño
- Seguridad de la vida, donde hay control limitado de la seguridad
- Prevención de colapso

El objetivo de diseño estructural para edificaciones indispensables será siempre el de ocupación inmediata. No solo es posible trabajar con diferentes tipos de comportamiento estructural esperado, sino que también se puede clasificar la estructura dentro de los diferentes niveles de daño esperado o tolerado, así como variar la probabilidad de ocurrencia del sismo para tener en cuenta en los diseños. Por último, vale la pena mencionar que en ciertos países se ha venido impulsando el amplio uso de sistemas de aislamiento sísmico en la base, también a manera de ejemplo práctico, para mejorar el comportamiento sísmico de las estructuras esenciales, como pueden ser los hospitales, clínicas, centros de salud e instituciones educativas.

Aunque son pocos los casos prácticos de este tipo en Colombia, este año hay cerca de una decena de proyectos sísmicamente aislados en la base. Los dos proyectos más recientes desarrollados con sistema de aislamiento sísmico en la base y que se encuentran en construcción fueron el Edificio de Ciencias de la Universidad EAFIT en Medellín y el Centro Cívico de la Universidad de los Andes en Bogotá. 