

## Diseño estructural sostenible en hormigón armado



Silvina Prados, Anabella Cardellino

Palabras clave: Sostenibilidad – Diseño estructural – Hormigón armado

### Introducción

Un desarrollo sostenible es aquel que involucra procesos que no solo protegen recursos naturales, sino que satisfacen necesidades económicas, sociales, culturales y medioambientales de las generaciones actuales sin poner en riesgo la satisfacción de las mismas a las generaciones futuras (Fernández y Gutiérrez, 2013).

La industria de la construcción es una de las grandes consumidoras de energía en todo el mundo durante el proceso de elaboración de los materiales, edificación y sobre todo durante el uso de los edificios. A esto se suma que los materiales más utilizados usan materias primas no renovables con procesos de producción que requieren del consumo de abundante agua y emiten grandes cantidades de dióxido de carbono al ambiente, no aportando por lo tanto, a un desarrollo sostenible.

Con el fin de accionar con medidas correctoras ante esta situación, la mayoría de los sistemas de certificación actuales, que regulan el grado de sostenibilidad de las edificaciones, para las etapas de diseño y construcción, priorizan aspectos ambientales como la disminución del consumo de agua y de energía, las acciones llevadas a cabo para controlar las emisiones de dióxido de carbono en los procesos empleados y la naturaleza de los materiales utilizados, pero dejan de lado la importancia de un buen diseño estructural como medida para satisfacer necesidades sociales, económicas y culturales del lugar. Esto puede traducirse en importantes disminuciones de la cantidad de material necesario para la construcción, pero también en construcciones resistentes y seguras con períodos de vida útil considerables, es decir en el buen uso de esos materiales.

La reciente aprobación de la parte I del reglamento INPRES-CIRSOC 103 (2018) incorpora la variable de regularidad estructural en planta para la definición de los métodos de diseño de un edificio en hormigón armado en zona sísmica. En la misma se

aclara que, “un edificio puede tener una forma geométrica simétrica sin entrantes o alas, pero aún ser clasificado como irregular en planta por la distribución vertical de masas o de elementos resistentes...Una causa importante de irregularidad es la falta de coincidencia entre los centros de masa y de rigidez, que provoca movimientos torsionales en la construcción” (INPRES-CIRSOC 103, Comentarios, 2018, p.8). Una estructura regular, debido a la disminución de los efectos torsionales, tendrá un comportamiento previsible frente a la acción sísmica y por lo tanto se proponen métodos sencillos para su análisis y coeficientes de seguridad que contemplan menores incertidumbres, mientras que una estructura con un grado de irregularidad elevado, debido a su gran vulnerabilidad y la deficiencia de los métodos de diseño actuales en la determinación del real comportamiento de las mismas, puede llegar a ser hasta inadmisibles en zonas geográficas de elevado riesgo sísmico.

En ese marco y como integrantes del proyecto de investigación “Estrategias de diseño estructural con hormigón armado en proyectos de arquitectura Argentina. Parte 2” perteneciente al programa “Ambiente, Tecnología y Diseño Sustentable. Las preexistencias ambientales y su impacto en la calidad de vida, el confort y la eficiencia energética” nos interesa investigar cual es la incidencia de un buen diseño estructural en el desarrollo sostenible de la arquitectura.

## Desarrollo

### Sistemas de certificación sostenibles actuales

Entendiendo al objeto de diseño como un producto, se vienen desarrollando desde los años 70 criterios y metodologías que permiten su creación con la calificación de “sostenible”. Se indican criterios para la fase inicial de diseño, para su consideración durante la construcción de la obra y explotación de la misma y, por último, para su reparo durante la demolición o desmontaje y posible reutilización de los insumos utilizados en otras obras. En la siguiente tabla se muestran los principales sistemas de certificación sostenible del mundo (Barrios Corpa y Santos Olalla, 2012).

Tabla 1. Principales sistemas de certificación sostenibles en el mundo

SISTEMAS DE CERTIFICACIÓN SOSTENIBLES	
PAIS	SISTEMA
Alemania	DGNB
Australia	NABERS GREEN STAR
Brasil	AQUA LEED BRASIL
Canadá	GREEN GLOBES LEED CANADA
China	GBAS
España	VERDE BREEAM ES
Estados Unidos	LEED
Finlandia	PROMISE
Francia	HQE
Holanda	BREEAM NETHERLANDS
Hong Kong	HKBEAM
India	LEED INDIA
Italia	ITACA
Méjico	LEED MÉXICO
Portugal	LIDER A
Reino Unido	BREEAM

Fuente: Elaboración propia

Estos sistemas de certificación han ido evolucionando con el pasar de los años haciendo énfasis, los más antiguos solo en el uso de los recursos mientras que, los más actuales, si bien siguen utilizando los mecanismos de aprobación de sus antecesores, tienen por objetivo alcanzar estilos de vida más sostenibles (Álvarez y Buigues Nollens, 2018).

A continuación, se realizará un breve análisis de los más utilizados y el estado de situación en nuestro país.

a) LEED. Leadership in Energy and Environmental Design (U.S. GBC, 2000)

Este Sistema fue creado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos en el año 2000 y actualmente el método es aplicado en 165 países. Se encuentra disponible tanto para la etapa de diseño y construcción, como para la etapa de operación y mantenimiento de los edificios abarcando los usos residencial, comercial, institucional, desarrollo de barrios y ciudades.

Asigna una puntuación en función de las soluciones adoptadas a los parámetros que define, otorgando distintos niveles de certificación:

- LEED Platinum (Platino): para edificios que obtienen 80 o más puntos.
- LEED Gold (oro): para edificios que obtienen entre 60 y 79 puntos.
- LEED Silver (plata): para edificios que consiguen ubicarse en la franja de 50 a 59 puntos.
- LEED Certified (Certificado): para edificios que obtienen entre el 40 y 49 puntos.

Los parámetros que definen la puntuación son:

- 1) Sustainable Sites (sitios sostenibles, emplazamiento) que mide el impacto de la obra sobre los ecosistemas y recursos de la zona. Se prioriza la elección de terrenos con buena accesibilidad, cerca de servicios y en zonas de alta densidad.
- 2) Water Efficiency (Eficiencia del agua) que contempla aquellas estrategias y tecnologías que permitan reducir la cantidad de agua consumida por el edificio con el objetivo de promover un uso más inteligente y racional de este recurso. Este ítem quizás tenga una incidencia mayor durante la vida útil del edificio, pero no puede ignorarse a la hora de pensar en su etapa constructiva sobre todo si nos referimos a obras por vía húmeda como lo son las de hormigón armado.
- 3) Energy and Atmosphere (energía y atmósfera) que evalúa el comportamiento energético del edificio cuantificando la cantidad de energía que necesita para su funcionamiento y el empleo de las energías renovables para mejorar su eficiencia. Este parámetro, al igual que el anterior, tiene su mayor incidencia durante el uso de las edificaciones, pero también en la etapa constructiva al evaluar el tiempo o plazos que las obras demandan.
- 4) Materials and Resources (materiales y recursos) donde se valora el uso de materiales que demanden menores procesos de producción, reciclables o reciclados promoviendo la conservación de los recursos, la reducción de los residuos generados durante todo el proceso o ciclo de vida del edificio y todas aquellas acciones que minimicen el impacto sobre el medio ambiente que causa la fabricación y el transporte de nuevos materiales.
- 5) Indoor Environmental Quality (calidad del aire interior) considerándose aquellas

medidas que mejoran la calidad del ambiente interior como son el empleo de luz natural, el confort térmico y acústico, la ventilación, etc., contribuyendo a una confortabilidad y calidad de vida sostenible en el tiempo.

6) Innovation and Design (innovación y diseño) donde se valora el diseño, así como la innovación en todas aquellas medidas que permitan un rendimiento por encima de los estándares o requisitos LEED, o cualquier otra innovación no contemplada dentro de las anteriores categorías.

7) Regional Priority (prioridad regional) donde se reconoce la importancia de las condiciones locales en la determinación de las mejores prácticas de construcción y diseño ambiental.

b) BREEAM. Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BRE 1990)

Es el principal sistema de evaluación de Reino Unido y está gestionado por el Building Research Establishment, o BRE, una entidad inglesa con más de 90 años de historia, especializada en la investigación y educación en el área de la edificación. Actualmente este sistema se encuentra presente en 78 países donde es adaptado en función de la naturaleza, normativa y particularidades de cada país. El Método particulariza los sistemas y criterios de evaluación y certificación de la sostenibilidad dependiendo de las distintas tipologías edificatorias y de su uso (como en LEED), a fin de optimizar la evaluación del rendimiento de los distintos tipos de edificios o desarrollos urbanísticos. El certificado otorgado es de carácter privado y voluntario y la calificación se realiza de acuerdo a los puntos obtenidos con base en el cumplimiento de los requisitos establecidos en cada una de las diez categorías contempladas en el sistema. Según los puntos conseguidos, se establecen 5 rangos de clasificación que, en el caso de Vivienda, Comercios y Desarrollos urbanísticos corresponden a:

- Aceptable (>30%)
- Bueno (45-54%)
- Muy Bueno (55-69%)
- Excelente (70-84%)
- Excepcional (>85%)

Las 10 categorías analizadas, con consideraciones similares a las ya expresadas para la certificación LEED, son:

- 1) Management (Gestión).
- 2) Health and comfort (Salud y Bienestar).
- 3) Energy (Energía).
- 4) Transport (Transporte).
- 5) Water (Agua).
- 6) Materials (Materiales).
- 7) Construction waste (Residuos).
- 8) Use of land and Ecology (Uso del Suelo y Ecología).
- 9) Pollution (Contaminación).
- 10) Innovation (Innovación).

c) AQUA. Alta Qualidade Ambiental (Fundación Vanzolini<sup>36</sup> 2008)

Este es el principal sistema de certificación desarrollado en Brasil y nos permite tener una mirada regional sobre el tema de estudio.

Es implementado a través de la Fundación Vanzolini que es una institución sin fines de lucro creada, mantenida y administrada por los maestros del Departamento de Ingeniería de Producción de la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo para desarrollar actividades innovadoras en el área. Desde su lanzamiento en 2008, el Proceso AQUA ha propuesto una nueva mirada a la sostenibilidad en los edificios brasileños donde sus referencias técnicas se desarrollaron teniendo en cuenta la cultura, el clima, las normas y reglamentos técnicos presentes en Brasil. En el año 2014 luego de un acuerdo de cooperación con CERWAY (creado en Francia en el año 2013) convierte a esta fundación en el representante en Brasil de la red de certificación HQE (Haute Qualité Environnementale) y el Proceso AQUA se convierte en una certificación AQUA-HQE con reconocimiento e identidad internacional. Se encuentra disponible para oficinas, escuelas, hoteles y edificios residenciales.

El método contempla el cumplimiento de 14 categorías distribuidas de la siguiente manera:

- 1) Relación del edificio con su entorno.
- 2) Elección integrada de productos constructivos, sistemas y procesos.
- 3) Trabajos de bajo impacto ambiental.
- 4) Gestión de energía.
- 5) Gestión del agua.
- 6) Gestión de residuos de uso y operación del edificio.
- 7) Mantenimiento - permanencia del desempeño ambiental.
- 8) Comodidad higrotermal.
- 9) Comodidad acústica.
- 10) Confort visual.
- 11) Confort olfativo.
- 12) Calidad sanitaria del medio ambiente.
- 13) Calidad sanitaria del aire.
- 14) Calidad sanitaria del agua.

A partir del estudio de estas categorías puede observarse que este sistema, como se mencionó anteriormente, tiene un objetivo mucho más amplio que los anteriores ya que intenta implementar un estilo de vida sostenible.

Para obtener la certificación el emprendimiento se analiza en todas sus fases: Programa, Concepción (proyecto); Realización (Obra) y Operación (uso). Otorga 3 niveles de calificación en función de la cantidad de categorías aprobadas:

- Nivel Base (B): 7 categorías
- Nivel Buenas Prácticas (BP): 11 categorías

---

<sup>36</sup> Fundación Vanzolini. Página web: <https://vanzolini.org.br/aqua>

- Nivel Mejores Prácticas (MP): 14 categorías

### **Estado de situación en Argentina**

En Argentina el desarrollo sostenible para la construcción de un edificio se encuentra regulado por las normas IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación) y carece hasta el momento de un método o sistema de certificación y de la obligatoriedad de reportar o hacer público su desempeño. Se destacan las siguientes:

- IRAM 11930. Construcción sostenible. Principios generales: identifica y establece principios generales para la sostenibilidad en la construcción de edificios (equivalente a la ISO<sup>37</sup> 15392 – 2008). Se basa en el concepto de desarrollo sostenible que se aplica al ciclo de vida de los edificios. Si bien constituye un punto de partida para la aplicación de metodologías sostenibles no proporciona una estructura jerárquica de datos ni establece una ponderación como los sistemas de certificación citados anteriormente. Los principios generales en que se basa son: 1) Mejora continua; 2) Equidad; 3) Pensamiento global y acción local; 4) Enfoque holístico; 5) Participación de las partes interesadas; 6) Consideración a largo plazo; 7) Precaución y gestión de riesgos; 8) Responsabilidad y 9) Transparencia (Proyecto norma IRAM 11931, 2014).
- IRAM 11931. Construcción sostenible. Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil. Guía de aplicación de los principios generales de la IRAM 11930: provee lineamientos para la aplicación de los principios generales de la sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil, indicados en la IRAM 11930. Muestra los diferentes actores en las obras de construcción y de cómo tomar en cuenta estos principios dentro del proceso de toma de decisiones, a fin de incrementar la contribución de las obras de construcción al desarrollo sostenible.

Estas normas incorporan el ACV o análisis del ciclo de vida de los edificios. El ACV, al ser un método estandarizado, crea referencias comunes entre los diferentes productos de una edificación para poder comparar el impacto ambiental de distintas alternativas y elegir la mejor opción.

### **Especificaciones para el diseño estructural**

De lo antes expuesto se deduce que, si bien los objetivos de los sistemas de certificación y normas actuales se orientan hacia estilos de vida sostenibles, los controles y auditorías resultan incoherentes ya que reparan solo en QUÉ recursos se utilizan y no en CÓMO se utilizan siendo esto más evidente para la etapa de diseño de los edificios. Esto es contemplado por las normas IRAM en nuestro país donde al incorporar el ACV introducen indirectamente consideraciones sobre la seguridad y vida útil de las construcciones. Estas dos variables tienen gran relevancia en el diseño de estructuras con alta densidad de ocupación, como los edificios en altura de hormigón armado para vivienda, y en zonas geográficas riesgosas, como son las zonas sísmicas.

---

<sup>37</sup> International Organization for Standardization (Organización internacional de estandarización).

En el reglamento INPRES-CIRSOC 103, vigente en nuestro país desde el año 2018, se define la regularidad estructural como parámetro para garantizar la confiabilidad en la predicción de la respuesta de la construcción ante excitaciones sísmicas, constituyéndose de esta manera en un diseño deseable que garantiza cumplir con periodos de vida útil para las construcciones superiores a los 50 años y la debida confiabilidad estructural en función de las demandas sociales y económicas de toda la sociedad.

Tabla 2. Aplicabilidad de los métodos de análisis estructural

Tipo de regularidad	Línea	Condición de regularidad	Línea	Caso	Zonas Sísmicas 3 y 4			Zonas Sísmicas 0, 1 y 2		
					A <sub>o</sub>	A	B	A <sub>o</sub>	A	B
Regularidad en Planta Tabla 2.3.	1	Torsional	1 <sub>a</sub>	Regular	E	E	E	E	E	E
			1 <sub>b</sub>	Irregularidad Media	D	E	E	E	E	E
			1 <sub>c</sub>	Irregularidad Extrema	R	R	R	R	D	D
	2	Continuidad de Elementos	2 <sub>a</sub>	Regular	E	E	E	E	E	E
			2 <sub>b</sub>	Irregular	E	E	E	E	E	E
	3	Ortogonalidad	3 <sub>a</sub>	Regular	E	E	E	E	E	E
			3 <sub>b</sub>	Irregular	E	E	E	E	E	E
	4	Esquinas entrantes	4 <sub>a</sub>	Regular	E	E	E	E	E	E
			4 <sub>b</sub>	Irregular	D	D	E	E	E	E
	Regularidad en Altura Tabla 2.4.	1	Rigidez	1 <sub>a</sub>	Regular	E	E	E	E	E
1 <sub>b</sub>				Irregularidad Media	D	E	E	D	E	E
1 <sub>c</sub>				Irregularidad Extrema	R	R	R	R	D	E
2		Masas		Regular	E	E	E	E	E	E
				Irregular	D	D	D	D	D	E
3		Dimensiones Horizontales		Regular	E	E	E	E	E	E
				Irregular	D	D	D	D	D	E
4		Retranqueos en su Plano	4 <sub>a</sub>	Regular	E	E	E	E	E	E
			4 <sub>b</sub>	Irregular	E	E	E	E	E	E
5		Resistencia Horizontal	5 <sub>a</sub>	Regular	E	E	E	E	E	E
	5 <sub>b</sub>		Irregular	R	R	R	R	D	E	

E: Método Estático; D: Métodos Dinámicos; R: Rediseñar la Estructura

Fuente: Reglamento INPRES-CIRSOC 103

En la tabla 2 se especifican los métodos de diseño a aplicar según el grado de regularidad del edificio y la zona sísmica de implantación, especificando el rediseño en aquellos casos donde las situaciones sean extremas (Comentarios INPRES-CIRSOC 103, 2018, p.13).

Además de estas limitaciones, incorpora una excentricidad accidental para tener en cuenta en el diseño, en función del grado de irregularidad, lo que puede traducirse en mayores sollicitaciones a medida que esta aumenta y consecuentemente mayor consumo de material (INPRES-CIRSOC 103, 2018, p.52). Se especifica entonces para:

- Estructura torsionalmente regular o con irregularidad torsional baja: sin excentricidad accidental
- Estructura con irregularidad torsional media: una excentricidad accidental del 5% de la longitud de la planta en la dirección de aplicación de las fuerzas.
- Estructura con irregularidad torsional extrema: una excentricidad accidental del 10% de la longitud de la planta en la dirección de aplicación de las fuerzas.

### Reflexiones finales

- La sostenibilidad en las edificaciones no sólo debe analizarse bajo parámetros ambientales, sociales y económicos en el momento de su ejecución sino incorporando el ACV. Esto garantiza una mirada hacia el futuro con construcciones que posean mayor seguridad, mayor durabilidad y menores costos, sobre todo en los procesos de reparación de daños que puedan producirse durante el uso de las edificaciones y en situaciones de catástrofes.
- Además de los impactos ambientales durante la producción del material, la elección del mismo debe poder contemplar aspectos tales como la capacidad resistente, de tal forma de posibilitar la construcción de edificaciones con elevada densidad cuando se requiera, sin disminuir su confiabilidad estructural ni desempeño con un consumo razonable de recursos.
- La enseñanza de la arquitectura debe enfatizar en métodos que garanticen la eficiencia, seguridad y durabilidad de las construcciones para un desarrollo sostenible de la profesión.
- Investigaciones sobre cómo y cuánto incide un diseño regular de la configuración estructural de un edificio en su grado de sostenibilidad constituiría un aporte significativo al proceso proyectual de los arquitectos e ingenieros.

### Bibliografía

Álvarez, A. y Buigues Nollens, A. (2018). Caracterización y diagnóstico de metodologías internacionales y normas IRAM para la evaluación ambiental edilicia de la vivienda: análisis dirigido a la contextualización regional para zonas áridas de Argentina. *Revista Hábitat Sustentable* Vol. 8, N° 1, 42-53. ISSN 0719 - 0700. Recuperado de: <https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.01.04>

Álvarez, G. (2018-2021). Estrategias de diseño estructural con hormigón armado en proyectos de arquitectura argentina. Parte 2. (Proyecto de investigación) SECyT, Córdoba.

Barrios Corpa, J. y Santos Olalla, F. (2012). El proyecto de estructura en los sistemas de certificación sostenible de edificios. Recuperado de:

<http://aulagreencities.coamalaga.es/proyecto-de-estructura-en-los-sistemas-de-certificacion-sostenible-de-edificios/>

Fernández, L. y Gutiérrez, M. (2013). Bienestar Social, Económico y Ambiental para las Presentes y Futuras Generaciones. *Información Tecnológica* Vol. 24 (2), 121-130. ISSN 0718-0764. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000200013>

INPRES-CIRSOC 103 (2018). Reglamento Argentino para construcciones sismorresistentes. Parte I: Construcciones en general. Reglamento. Recuperado de <http://www.inti.gob.ar/cirsoc/>

INPRES-CIRSOC 103 (2018). Reglamento Argentino para construcciones sismorresistentes. Comentarios a la Parte I: Construcciones en general. Recuperado de <http://www.inti.gob.ar/cirsoc/>

Maristany, A. y Carro Pérez, M. (2018-2019). Ambiente, Tecnología y Diseño Sustentable. Las preexistencias ambientales y su impacto en la calidad de vida, el confort y la eficiencia energética. (Programa de investigación) SECyT, Córdoba.

IRAM 11931 (2014). Proyecto de norma. Construcción Sostenible. Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil. Guía sobre la aplicación de los principios generales de la IRAM 11930. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/212996791/EA3-IRAM-11931>