

INTEGRACIÓN DE LA PLANEACIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN EL PROCESO DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE EDIFICIOS AMBIENTALES EN MÉXICO

*Integration of service life planning in the process of architectural
design of ecological buildings in Mexico*

DR. EN ARQ. SILVERIO HERNÁNDEZ MORENO
Profesor Investigador del Centro de Investigación en Arquitectura y Diseño
Facultad de Arquitectura y Diseño
Universidad Autónoma del Estado de México, México
silverhm2002@yahoo.com.mx

Fecha de recibido: 7 febrero 2014
Fecha de aceptado: 2 mayo 2014

pp: 103-122



FAD | UAEMéx | Año 9, No 16
Julio - Diciembre 2014

RESUMEN

Este reporte de investigación deriva de un proyecto de ciencia básica, el cual tuvo una duración de 3 años y estuvo patrocinado por CONACYT (con clave: CONACYT 128549), y, a su vez, fungiendo como responsable técnico el autor de este reporte y responsable administrativo de la Universidad Autónoma del Estado de México. El proyecto se resume en determinar los métodos cuantitativos y cualitativos para la integración de la planeación de la vida útil en el proceso de diseño arquitectónico ambiental. La investigación revisa y evalúa toda la normatividad existente en dicha materia que ayuda a la elaboración de una metodología de aplicación de este conocimiento básico, como es la planeación de la vida útil en el desarrollo de proyectos de arquitectura tomando en consideración los factores de durabilidad, pero además los factores de sustentabilidad en el diseño arquitectónico. En síntesis, se determinan y estudian los elementos que inciden en la vida útil de un proyecto arquitectónico y se aborda un caso de estudio para la aplicación de dicha metodología de planeación e integración en edificios. Se propone una metodología particular desde el enfoque arquitectónico, primeramente para estimar la vida útil de los proyectos de edificios, tomando en cuenta elementos de deterioro y degradación de los componentes constructivos, y segundo, se logra realizar una propuesta práctica para la elaboración de un plan de diseño por durabilidad en proyectos de edificios que contempla también un plan de mantenimiento del inmueble durante su vida útil.

Palabras clave: diseño ambiental, durabilidad, vida útil.

ABSTRACT

This research brief discusses the results of research carried out during 3 years period sponsored by CONACYT for basic science research (project key: CONACYT 128549) The author of this review was serving as technical leader and administrative head at the Autonomous University of the State of Mexico. The project determines the quantitative and qualitative methods for the integration of planning for life in the process of ecological architectural design. All existing regulations on life evaluation in Mexico were reviewed and evaluated in order to support development of a methodology for applying these principles as planning tool for life cycle evaluation in the development of architectural projects taking into consideration not only key issues of durability but also additional key factors of sustainability in architectural design. In short, the factors affecting the life cycle of architectural projects and a case study for the application of this planning methodology in buildings were discussed. The main result is a specific methodology for the architectural approach, first to estimate the life-time of building projects taking into account factors of deterioration and degradation of building components, and second, it has managed to make a practical proposal for the design plan development for building projects durability. Also this approach includes a management and maintenance plan of the property over its useful life.

Key words: ecological design, durability, service life.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES DEL TEMA

Cuando se habla de vida útil¹ en los edificios por parte de diseñadores, urbanistas, constructores de infraestructura y equipamiento de la ciudad y promotores de bienes inmuebles, normalmente se relaciona con el medio ambiente del proyecto, y por lo general no se toman en cuenta otros factores como mano de obra, uso del edificio, tipo de mantenimiento, etc. que forman parte del ciclo de vida entero del inmueble, más aún, cuando se aplica algún modelo de diseño ambiental (desarrollado en Estados Unidos de Norteamérica y Reino Unido respectivamente) como LEED® o BREEAM®; esto hace creer que la única manera de tener éxito al construir es al menos cuando el edificio tenga una vida programada de más de 100 años, aunque es importante la durabilidad, no es el único factor a considerar. Sin embargo, en la práctica del contexto mexicano pasa u ocurre muchas veces que, determinados edificios, tienen una vida útil relativamente corta, por ejemplo alrededor de 50 años; debido a diversas razones, entre algunas, a que las ciudades evolucionan, y con ello el valor de suelo, debido también al desarrollo urbano y modificaciones a las ciudades e incluso al mismo deterioro de los componentes del edificio, a la selección de materiales y sistemas constructivos, empleados en la fase de construcción; o también al mismo mantenimiento, uso y operación inadecuado del inmueble por parte de los usuarios o administradores del edificio. En el caso de la demolición de los edificios, la razón de “terminarlos” se da más por la adaptabilidad del inmueble y a su localización en el sitio que por la selección de sistemas y materiales de construcción. En arquitectura ambiental, se debe evitar diseñar el edificio para ser demolido y por tanto se debe buscar otras opciones como la deconstrucción, desmantelamiento, re-uso, rehabilitación y reciclamiento de sus componentes. Estos problemas ocurren porque generalmente no se considera el diseño por ciclo de vida² en los edificios, y por tanto, no existe una *planeación de la vida útil del inmueble* que se esté realizando, desde su pre-diseño y diseño, hasta su construcción, ocupación, mantenimiento y fin de su vida útil. Por lo que este proyecto cuenta con la premisa del diseño ambiental en la arquitectura y edificación, en donde se pudieran integrar los conceptos y el ciclo de vida con el proceso de diseño ambiental de los edificios.

- 1 La vida útil entendida como el periodo de tiempo después de la construcción o instalación durante el cual el edificio y sus partes cumplen o exceden los requerimientos de rendimiento para lo cual fueron diseñados y construidos por lo que es necesario hacer uso de mantenimiento correctivo significativo y de reparaciones y remplazos de los materiales y componentes constructivos (ISO, 2000a).
- 2 Diseño por ciclo de vida entendido como el proceso de creación en donde se incluye el análisis de los impactos ambientales ocurridos en todas las etapas del proyecto del edificio, tales como: pre-diseño, diseño, construcción, uso, operación, mantenimiento y fin de la vida útil del inmueble (ISO, 2000b).

Lo ideal es, por supuesto, que la construcción tenga una vida útil lo más larga posible y al mismo tiempo que ahorre recursos empleados en la construcción, operación, uso y mantenimiento del mismo; lo cual permite mitigar daños de impactos nocivos al ambiente. La clave se encuentra en el diseño ambiental con características de adaptabilidad y flexibilidad e igualmente importante es diseñar para de-construir³ edificios y no para demolerlos y además proponer el re-uso y reciclamiento de materiales y componentes del edificio en los casos de que éste no sea programado para tener una vida eficiente muy prolongada (alrededor de 100 años o más), en donde se utilizarían otros criterios igualmente ambientales.

Finalmente, cuando se habla de durabilidad, en muchos casos sólo se refiere al mantenimiento de algunas partes o materiales del edificio, cuando lo que se debe tomar en consideración es que hay componentes de éstos que, aunque se le dé menos mantenimiento, van a durar igual que otros similares, y es ahí donde se ofrecen beneficios importantes a todo el sistema del inmueble.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Por lo anterior, existen diversos modelos de diseño ambiental en edificación que se están empezando a aplicar dentro del proceso de diseño arquitectónico en México, lo cual es positivo para el producto, en este caso los edificios, los cuales impactan menos al ambiente y son más confortables y funcionales; pero existe un problema particular dentro del diseño arquitectónico de este tipo de construcciones, y es que no se están considerando los diversos factores para integrar y planear la vida funcional de los inmuebles dentro de los modelos de diseño por ciclo de vida y de los criterios de durabilidad en las edificaciones de acuerdo a las prioridades y capacidades del contexto mexicano. Es un problema que pasa no solamente en México, sino alrededor del mundo, y es que los planeadores, promotores y diseñadores de inmuebles optan por no usar los métodos de Planeación de Vida Útil en el proceso de diseño y tampoco utilizan al pie de la letra el Diseño por Ciclo de Vida de los mismos. Esto debido a que se supone que los sistemas de integración de vida útil en el desarrollo de diseño arquitectónico son complicados de aplicar y que requieren de especialistas en la materia, lo cual hace más difícil su planeación y ejecución. La presente investigación aborda esta problemática desde el punto de vista arquitectónico, basándose en la normativa internacional en materia de Planeación de la Vida Útil, así como en modelos de diseño ambiental de inmuebles y métodos por Ciclo de Vida para proveer soluciones al momento del proceso de diseño y respuestas a cuánto debe durar un edificio y cómo debe ser diseñado para ello.

3 De-construir en arquitectura y edificación significa poder separar las partes de un edificio sin dañarlas para poder re-usarlas o reciclarlas. La palabra que más se parece, sin llegar a ser sinónimo, sería desmantelamiento.

HIPÓTESIS

Si se integra la planeación de la vida útil de forma adecuada en el proceso de diseño ambiental de las edificaciones, entonces se crean inmuebles más durables, ecológicos, funcionales, económicos y que impacten menos al ambiente durante todo su ciclo de vida. Lo cual se corrobora en la sección de resultados del presente reporte.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar y proponer las consideraciones y factores que influyen en la edificación para integrar la planeación de la vida útil en el proceso de diseño arquitectónico.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Determinar las principales consideraciones para la realización de una terminología en materia de vida útil y diseño por ciclo de vida en los edificios ambientales.
2. Realizar el *estado del arte* relacionado al tema de la vida útil de los edificios.
3. Analizar y revisar modelos y metodologías pre-establecidas, así como de lineamientos y normativa al respecto.
4. Identificar las distintas herramientas disponibles para la planeación de la vida útil en las edificaciones, y su aplicación al contexto mexicano.
5. Reconocer y analizar los principales factores que afectan la durabilidad de los materiales, componentes y sistemas constructivos de un inmueble.
6. Desarrollar un plan de trabajo para la ejecución de un caso de estudio en donde se pueda analizar un *diseño por ciclo de vida* de una construcción; identificando sus partes o subsistemas para desglosar y separar cada componente que influyera en la vida útil de todo el sistema (edificio).
7. Ejecutar el caso de estudio realizando un ejemplo de diseño arquitectónico en donde se integre la planeación de la vida útil y un diseño ambiental que incorporará un plan por durabilidad (en la fase de diseño y construcción) y uno de mantenimiento del inmueble para la fase de post-construcción o uso y ocupación del edificio.

METODOLOGÍA GENERAL

La presente investigación se apoya en algunas herramientas y documentos en donde se utilizan los conceptos de vida útil dentro del proceso de diseño de edificios, una de ellas es la norma técnica de ISO 15686 y otra es el lineamiento de CSA 478-95. Por lo general este tipo de lineamientos no se aplican en los procesos de diseño de edificios de

manera común, tal vez debido a la complejidad que representan estos criterios, y se cae en el error de proponer de forma arbitraria una determinada edad del inmueble. Por tanto, requeríamos simplificar dichos procesos y que este tipo de herramientas sean verdaderamente de apoyo al diseño, lo cual es uno de los objetivos particulares del presente estudio.

Por otro lado, existen metodologías de *Análisis por Ciclo de Vida* que incluyen el Costo por Ciclo de Vida, que es un método muy recomendado por ISO y otras instancias similares para ayudar a la toma de decisiones en análisis de costos iniciales y finales, bajo el criterio del *ciclo de vida*. Este método de Análisis de Costos por Ciclo de Vida es muy útil, ya que, por ejemplo, nos ayuda a saber que material es muy costoso de inicio, pero puede tener un bajo costo de mantenimiento y una larga vida útil o viceversa.

Existen varios software dedicados al cálculo de costos por ciclo de vida en los edificios; se analizarán algunos (*SimaPro® 7.1*) para conocer los parámetros que se consideran en el proceso de creación de un proyecto de edificación, y también para realizar un caso de estudio que pueda ejemplificar el proceso de diseño, integrando el ciclo de vida y vida útil del edificio en cuestión a dicho método. Se ha observado que en algunos modelos de bajo impacto ambiental para edificios como LEED® y/o BREEAM® no se ha integrado del todo el concepto de vida útil y diseño por ciclo de vida dentro de los requerimientos en el proceso de diseño y construcción, y en sí, en todo el ciclo del inmueble, esto tal vez por la misma razón que no se realiza en los despachos de diseño y construcción de edificios; debido a la complejidad que requiere y que además se requieren de expertos para ciertos aspectos en la aplicación de la norma de ISO 15686.

Existe mucha información acerca de métodos de análisis por ciclo de vida en los edificios y de igual manera de arquitectura, construcción y diseño de construcciones ambientales, verdes o ecológicas. Lo que está haciendo falta, no sólo en México, sino en todo el mundo, es integrar estas dos herramientas, y que se logre un diseño por ciclo de vida en los procesos de edificación y arquitectura de proyectos. Por lo tanto, es necesario integrar el lineamiento de CSA S478-95 con el modelo LEED® de Estados Unidos de Norteamérica, para tener una planeación de la vida útil y la durabilidad en el inmueble desde su diseño hasta el fin de su vida útil. Para ello tenemos que predecir la vida útil de los edificios y plasmarlo en el diseño, es decir, tomar las consideraciones de pertinentes para realizar un inmueble que responda a un determinado número de años de vida. En el caso de que un edificio contenga componentes que van a durar menos que el mismo edificio, debe haber un plan de diseño para que dichos componentes sean reemplazados de manera fácil sin afectar todo el sistema del inmueble (de acuerdo con el lineamiento de CSA S478-95 de Canadá).

Particularmente, en esta metodología, los pasos que se siguieron están resumidos en los siguientes:

1. Determinar una terminología en materia de vida útil y diseño por ciclo de vida que ayudará a explicar varios conceptos a través del documento. (recolección información).
2. Realizar un *estado del arte* del tema que incluyera análisis y revisión de modelos y metodologías tanto de ciclo de vida (ISO 15686 y el lineamiento de CSA 478-95), como de diseño ambiental en edificios (LEED y BREEAM). (Recolección de información).
3. Analizar las herramientas de ISO y de CSA referentes a la planeación de la vida útil en los edificios y su aplicación en el caso de la edificación en México. (Procesamiento de información).
4. Identificar, desglosar y analizar los principales factores que afectan a la durabilidad de los subsistemas del edificio o componentes del mismo (materiales y procedimientos de construcción y otros componentes del sistema). (Recolección y procesamiento de información).
5. Desarrollar un plan de trabajo (aplicable y replicable a cualquier proyecto arquitectónico) para la integración del concepto y los procedimientos para incluir la vida útil en el proceso de diseño del edificio.
6. Aplicar un método particular de estimación de vida útil y de dicho plan de durabilidad en un caso de estudio.

Este método particular propuesto para la estimación de la vida útil y plan de durabilidad en los edificios consiste en los siguientes puntos:

1. Identificar las condiciones generales de servicio, tipo de edificio, requerimientos funcionales y rendimiento del edificio.
2. Determinar la vida útil de diseño del edificio y sus componentes.
3. Establecer y determinar los factores que afectan a la durabilidad del proyecto.
4. Estimar la vida útil del edificio y de sus componentes constructivos (con el método por factores de ISO 15686).
5. Definir el Plan de Durabilidad del inmueble con base a estrategias de diseño.
6. Generar el Plan de mantenimiento, reparación y remplazo del edificio y sus componentes.

RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

Esta sección está enfocada a presentar los resultados de la investigación a través de un ejemplo de aplicación del caso de estudio.

Ejemplo de la estimación de la vida útil y generación del plan de durabilidad en un edificio de oficinas en la ciudad de Toluca, México.

El desarrollo y aplicación del método es lo siguiente:

1. Identificación de las condiciones generales de servicio, tipo de edificio, requerimientos funcionales y rendimientos del edificio

Para este caso se contó con el proyecto de un inmueble de oficinas de 5 niveles, ubicado en la ciudad de Toluca, México, en donde se requería de una vida útil de diseño de 99 años, según los datos contenidos en la tabla 2 y equivalentes a la información de la norma ISO 15686.

Considerando que el procedimiento de construcción del edificio estaba planeado “*in situ*”, era recomendable construirlo a base de una estructura de concreto reforzado con acero utilizando columnas, traveses y losas de cimentación, así como entrepisos de estructura metálica acanalada (sobre vigas metálicas) con capas de compresión de concreto reforzado con malla metálica electro-soldada y terminado con piso cerámico asentado con mezcla cemento-arena. Algunas recomendaciones técnicas de durabilidad serían: en lo referente al concreto premezclado, utilizar como mínimo una resistencia $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, con un aditivo a la mezcla del concreto de cenizas volantes para hacerlo más durable y resistente a agentes externos; y en lo referente al acero para refuerzo del concreto se usaría una resistencia de diseño $Fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$ con un baño en la superficie del acero de refuerzo para evitar la corrosión. Asimismo, se recomendaba usar un recubrimiento mínimo de 6 cm en el concreto reforzado para evitar la corrosión por agentes externos.

DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE DISEÑO DEL EDIFICIO

Continuando con el procedimiento del método propuesto para la estimación de vida útil y durabilidad en los edificios, tenemos que la Vida Útil de Diseño del inmueble (VUD) de oficinas, según el tipo de construcción, su uso y sus condiciones de accesibilidad en el mantenimiento, fue de VUD= 99 años; según la información de la norma técnica canadiense CSA S478-95 (R2001) y de las tablas 1, 2 y 3 que a continuación se describen, equivalentes a la norma ISO 15686 y en la cual también se basa la versión LEED® de Canadá sobre diseño de la durabilidad en edificios (LEED®, 2004).

Tabla 1. Vida Útil de Diseño (VUD) de los edificios y de sus componentes constructivos según sus condiciones de accesibilidad al mantenimiento (en años).

Plazos de durabilidad de la edificación	Vida Útil de Diseño del Edificio Completo (VDEC) (años)	Vida Útil de Diseño de Componentes Constructivos (VDCC) para condiciones económicas y técnicas accesibles de mantenimiento (años)	Vida Útil de Diseño de Componentes Constructivos (VDCC) para condiciones económicas y técnicas moderadamente accesibles de mantenimiento (años)	Vida Útil de Diseño de Componentes Constructivos para condiciones económicas y técnicas inaccesibles de mantenimiento (años)
Corto	1-15	1-3	3-10	10-15
Normal	50-100	3-6	25-50	50-100
Largo	Mayor de 100	6-10	50-100	Mayor de 100

Fuente: ABCB, 2006. Véase en la sección de referencias.

Tabla 2. Vida Útil de Diseño (VUD) del edificio y sus componentes según el tipo de componentes constructivos (en años).

VDEC (Vida Útil de Diseño del Edificio Completo (años))	Elementos estructurales y/o elementos inaccesibles	Elementos caros o de difícil replazamiento	Mayormente y razonablemente replazables	Elementos de subsistemas de instalaciones hidráulica, sanitaria, gas, especiales, aire, energía, mecánica y/o eléctrica	Techumbres	Obra exterior
150	150	100	40	20	20	30
100	100	100	40	20	20	30
60	60	60	40	20	20	30

Fuente: WBDG, 2012. Véase en la sección de referencias.

La siguiente información (Tabla 3) también es de gran importancia en esta segunda etapa del procedimiento, ya que nos puede guiar en la determinación de una vida útil de diseño por componente respecto a categorías de periodos de tiempo.

Tabla 3. Vida Útil de Diseño (VUD) por categoría o tipos de edificios.

Categoría de edificios	Vida útil de Diseño por categoría (años)	Ejemplos
Temporales	Hasta 10	Construcciones no permanentes, oficinas de ventas, edificios de exhibición temporal, construcciones provisionales.
Vida media	25-49	La mayoría de los edificios industriales y la mayoría de las estructuras para estacionamientos.
Vida larga	50-99	La mayoría de los edificios residenciales, comerciales, de oficinas, de salud, de educación, estacionamientos construidos debajo de los de esta categoría (vida larga).
Permanentes	Más de 100	Edificios monumentales, de tipo patrimoniales (museos, galerías de arte, archivos generales, etc.).

Fuente: CSA, 2001. Véase en la sección de referencias.

Se considera que las tablas 1, 2 y 3 pueden ser de gran ayuda para la determinación de la vida útil de diseño, siempre y cuando se respete el uso que se le va a dar al edificio y que se cubran los requerimientos de diseño y rendimiento del inmueble a construir.

Si se solicita específicamente conocer la expectativa de *vida útil* para un determinado material o componente constructivo, lo que se tiene que hacer es conseguir esa información en fichas técnicas y/o en manuales que los fabricantes y proveedores deben ofrecer de sus productos; en el caso de que los fabricantes por irresponsabilidad no presentan este dato, una forma de obtener la vida útil de algún material o componente es definitivamente haciendo pruebas de envejecimiento en laboratorio para aproximarnos a una vida de diseño. Otra forma es por la experiencia en la comparativa con otros materiales y/o componentes constructivos empleados en similares procesos, que aunque no es lo recomendable cuando se requiere de cálculos exactos, puede ser pertinente sólo en estimaciones.

2. Determinación e identificación de los factores que afectan a la durabilidad del proyecto

Para determinar estos elementos fue necesario basarse en el método por factores de la norma ISO 15686.

Los siguientes puntos son los que afectan la durabilidad y provocan la degradación del inmueble:

- Calidad de los materiales y componentes de construcción.
- El nivel o grado del diseño arquitectónico, constructivo y de sus instalaciones.
- La calidad y nivel de la mano de obra en la ejecución de los procesos de construcción e instalación bajo sus correspondientes normas técnicas y reglamentos de construcción.
- El medio ambiente del interior del edificio como: humedad, temperatura y diversos agentes químicos y físicos existentes.
- El medio ambiente externo al edificio como el clima y la contaminación urbana.
- Uso del edificio con base en manuales y especificaciones realizadas por los diseñadores y constructores de los mismos que implican una mejor *operabilidad* del inmueble.
- Grado o nivel de mantenimiento de acuerdo con las especificaciones asentadas en el manual de mantenimiento realizado por los diseñadores y constructores del inmueble y de los productores o fabricantes de materiales y componentes usados en la construcción.

3. Estimación de la vida útil del edificio y de sus componentes constructivos (con el Método por Factores de ISO 15686)

Usando el *método por factores* que permite calcular la Vida Útil Estimada (VUE) mediante la corrección de la Vida Útil de Diseño (VUD) o de referencia, a través de la multiplicación de los valores de los factores en un rango de 0.8, 1.0 y 1.2 según (del método ISO 15686) se usa la fórmula:

$$VUE = VUD (A) (B) (C) (D) (E) (F) (G) \quad (1)$$

Donde VUE es la Vida Útil estimada, VUD es la Vida Útil de Diseño y de A-G son los factores que inciden en la vida útil del componente constructivo. Una vez teniendo los factores se determinaron los valores para cada uno según el proyecto (Tabla 4). Como sigue:

Tabla 4. Factores para la estimación de la vida útil del edificio del ejemplo.

Factores	Valores asignados
Calidad de los materiales y componentes de construcción.	1.0
El nivel o grado del diseño arquitectónico, constructivo y de sus instalaciones.	1.2
La calidad y nivel de la mano de obra en la ejecución de los procesos de construcción e instalación bajo sus correspondientes normas técnicas y reglamentos de construcción.	1.0
El medio ambiente del interior del edificio como: humedad, temperatura y diversos agentes químicos y físicos existentes.	1.0
El medio ambiente externo al edificio como el clima y la contaminación urbana.	0.8
Uso del edificio con base en manuales y especificaciones realizadas por los diseñadores y constructores de los mismos que implican una mejor operabilidad del inmueble.	1.0
Grado o nivel de mantenimiento de acuerdo con las especificaciones asentadas en el manual de mantenimiento realizado por los diseñadores y constructores del inmueble y de los productores o fabricantes de materiales y componentes usados en la construcción.	1.0

Fuente: Elaboración de Silverio Hernández Moreno.

Se sustituyen los valores en la fórmula (1):

$$VUE = 99 \times 1.0 \times 1.2 \times 1.0 \times 1.8 \times 0.8 \times 1.0 \times 1.0$$

$$VUE = 95.04$$

Como se puede observar la estimación de la vida útil, según la norma técnica ISO 15686 del edificio en cuestión, disminuyó ligeramente respecto a la vida de diseño o de referencia (de 99 años a 95.04). Lo anterior debido a los factores de medio ambiente externo, específicamente por la humedad y sustancias tóxicas en la atmósfera (por estar ubicado el edificio en una ciudad industrial), por lo que no es lo propicio para los elementos de construcción, sin llegar a ser un ambiente excesivamente agresivo como otros lugares ubicados en costas, expuestos a altas cantidades de humedad y brisas marinas. En cuanto al *plan de durabilidad*, se deben proponer distintas estrategias de diseño por durabilidad para solventar estos problemas e igualar al menos la vida útil estimada con la de diseño.

En resumen, se considera que la estimación para el caso de ejemplo es aceptable, es decir, no se aleja demasiado de la vida útil de referencia o de diseño y por tanto se considera aceptable. Pero es muy

conveniente rediseñar el proyecto, en el caso de no igualar o superar la vida útil de diseño respecto a la vida útil estimada, tal y como se menciona arriba.

4. Definición del Plan de Durabilidad del inmueble con base en estrategias de diseño a partir de la vida útil estimada.

A continuación, se muestra la tabla 5 en donde se presenta el *plan de durabilidad* para el ejemplo del edificio de oficinas, lo cual debe ayudar al rediseño del proyecto, que en este ejemplo, la VUE disminuyó respecto a la VUD.

Tabla 5. Estrategias de durabilidad del caso del ejemplo.

Estrategias de durabilidad en edificaciones (edificio del caso del ejemplo)

Agua del exterior

Cimentación

- Desviar el agua de columnas, muros y cimientos a partir de sistemas de drenajes en el subsuelo a base de gravas y sistemas de absorción cuando exista en exceso.
- Proveer un drenaje adecuado para evitar humedad en niveles más bajos de los componentes de concreto.
- Sellar todas las tuberías de instalaciones sanitarias, hidráulicas y otras posibles penetraciones de agua a muros y pisos.
- Sellar todas las juntas constructivas del edificio.
- Cubrir y sellar las conexiones de las bombas hidráulicas y de otros equipos como hidroneumáticos y sistemas que utilicen y emanen agua y humedad.
- Impermeabilización total de la cimentación que está directamente en contacto con la humedad y el subsuelo.
- Drenar apropiadamente el agua en el sistema de techos.
- Usar sistemas de drenes de arena, grava en el subsuelo y en donde se requiera guiar el agua hacia fuera y hacia los lados de la subestructura del inmueble.
- Usar materiales de relleno porosos e inertes y no materiales producto de excavaciones
- Proveer tuberías para drenar el agua del subsuelo en donde se requiera (para evitar la acumulación de agua y de humedad).
- Usar aislantes y retardadores de vapor en piezas expuestas a alta humedad.
- Impermeabilizar también la base del cimiento.

Muros

- Proveer drenes adecuados del agua para evitar su acumulación en muros.
- Que los sistemas principales de drenes de agua queden por debajo o hasta abajo del nivel de la base de los muros y pisos y que queden perfectamente sellados.
- Impermeabilizar los muros expuestos a humedad.
- Que los drenes de agua de los techos y azoteas den hacia fuera de los muros evitando los escurrimientos.
- En la pintura en muros al exterior aplicar un primer o sellador sobre el aplanado.
- Aplicar las capas de pintura sobre la base de primer o sellador en exteriores e interiores.

Estrategias de durabilidad en edificaciones (edificio del caso del ejemplo)

- Sellar juntas constructivas.
- Usar una ranura por debajo de la losa para gotero en voladizos de los techos que cubran las paredes de los muros exteriores.
- Diseñar las bajadas de agua pluvial o de otros líquidos del edificio de manera independiente, aisladas y selladas respecto a la estructura y específicamente respecto a los muros y columnas.
- Utilizar si es necesario membranas especiales de aislamiento por humedad entre el muro y el exterior sobre todo cuando se utilice un muro o techos verdes.

Techos y entrepisos

- Procurar la impermeabilización adecuada en las losas de azotea o techos que sea totalmente impermeable y que se integre perfectamente con la estructura.
- Procurar un excelente sellado en bajadas de agua pluvial.
- Evitar encharcamientos en la superficies de las losas o techos procurando la pendiente adecuada y utilizando los materiales adecuados para ello.
- Utilizar materiales bituminosos tanto para la membrana impermeabilizante como para el sellado y juntas.
- Sellado completo de las juntas constructivas entre componentes de construcción de los techos, losas y entrepisos.
- Asegurar el sellado de las instalaciones hidráulicas y sanitarias para evitar fugas de agua y líquidos hacia los componentes de la estructura de entrepisos y techos.

Agua del interior del edificio

- Instalar sistemas de drenaje en complemento a las instalaciones sanitarias que eviten la acumulación de la humedad al resto del edificio.
- Sellado adecuado de las instalaciones hidráulicas y sanitarias para evitar fugas al resto de los componentes del edificio.
- Adecuada instalación de los muebles y equipos que requieren uso de agua y desechos del mismo líquido mediante adecuada instalación y sellado.
- Adecuado diseño e instalación de pisos en zonas de desalojo de agua, poniendo especial atención en pendientes, coladeras y sistemas de sellado.

Infiltración de aire (poner especial atención en el aislamiento y sellado del aire en las instalaciones especiales)

- Sellado del aire en ductos de ventilación.

Condensación y evaporación.

- Aislar todas las tuberías de agua fría y caliente y evitar instalaciones de plomería en paredes exteriores.
- Impermeabilizar los acabados de los muros exteriores e interiores que estarán expuestos a grandes cantidades de humedad.

Radiación ultravioleta

- Instalar materiales con propiedades que controlen su degradación por efectos del sol y para cambios bruscos de temperatura.

Corrosión

- Aplicar tratamientos tanto en la estructura (principalmente en el acero de refuerzo) como en acabados para evitar la corrosión de los materiales.

Estrategias de durabilidad en edificaciones (edificio del caso del ejemplo)

Control de plagas

- Aplicar tratamientos para evitar termitas y roedores que puedan dañar los componentes de construcción definiendo los tipos de los sistemas y si estos se presentan en el mantenimiento o en la edificación.

Desastres naturales

- Sismos (apegarse al reglamento de construcción local para cálculo de estructuras por sismo).
- Vientos fuertes (apegarse al reglamento de construcción local para cálculo de estructuras por viento).
- Inundaciones (revisar los planes de desarrollo urbano del lugar para evitar la construcción sobre terrenos en riesgo de inundación)
- Riesgo por fallas geológicas (revisar los planes de desarrollo urbano del lugar para evitar la construcción sobre terrenos en riesgo de falla geológica). En caso de ser edificios importantes realizar las pruebas geológicas necesarias para ser consideradas en el cálculo estructural.
- Incendios (construir barreras anti-incendios en zonas de riesgo). Desarrollar el manual contra incendios y de operación en incendios para las edificaciones Fuente: Adaptación (tropicalización) por Silverio Hernández Moreno y Jesús E. de Hoyos Martínez al contexto mexicano, 2012, con base en el formato de LEED® CANADA, 2004 (GBC, 2004. Véase en la sección de referencias).

Fuente: Adaptación (tropicalización) por Silverio Hernández Moreno y Jesús E. de Hoyos Martínez al contexto mexicano, 2012, con base en el formato de LEED® CANADA, 2004 (GBC, 2004. Véase en la sección de referencias).

5. Definición del plan de mantenimiento, reparación y remplazo del edificio y sus componentes

Por último se presenta el plan de mantenimiento (Tabla 6) en donde se registra también la programación de reparación y remplazo de los componentes constructivos para el caso específico del ejemplo.

Tabla 6. Ejemplo de un formato propuesto para el desarrollo del *Plan de Mantenimiento*, (en este caso, para el edificio de oficinas).

N°	Componente constructivo	Vida útil estimada (años)	Subsistema del edificio al que pertenece	Mantenimiento	Reparaciones	Reemplazos
1	Losa de azotea	99	Estructura	<p>Sí, cada 2 años (Nota: el mantenimiento, reparación y reemplazo aquí referidos es únicamente sobre el acabado de la losa específicamente del sistema de impermeabilización)</p> <p>La estructura no requiere mantenimiento</p>	Sí, cada 6 años	Sí, cada 10-15 años
2	Estructura del edificio (cimentación, columnas, trabes, vigas y entrepisos)	99	Estructura	<p>No requiere mantenimiento, solamente inspección cada 10 años para verificar grietas y fisuras en elementos estructurales como columnas, vigas y losas.</p> <p>Nota: Si requiere inspección por ejemplo, cada 2 años (en elementos cercanos a la cimentación) verificar el estado general y funcionamiento de los conductos de drenaje y de desagüe.</p>	No requiere	No requiere
3	Muros divisorios	60	Envolvente	<p>Sí, cada 3-4 años en pintura de interiores.</p> <p>(Nota: el mantenimiento aquí referido es en los acabados de los muros divisorios).</p>	Sí, cada 8 años	No requiere

N°	Componente constructivo	Vida útil estimada (años)	Subsistema del edificio al que pertenece	Mantenimiento	Reparaciones	Remplazos
4	Tubería y accesorios en Instalación Hidráulica	20	Instalaciones	Sí, cada 1 año.	Sí, cada 3 años.	Si, cada 8 años, excepto las tuberías.
5	Tubería y accesorios en instalación sanitaria	20	Instalaciones	Sí, cada 1 año.	Sí, cada 3 años.	Si, cada 8 años, excepto las tuberías.
6	Ventanas y vidrios	99	Envolvente	Sí, cada 3 meses requiere limpieza en vidrios y ventanas.	Sí, cada año se revisa el sellado y se reparan en caso que sea necesario.	No requiere

Fuente: Elaboración de Silverio Hernández Moreno, según tablas 1, 2 y 3 del presente documento.

CONCLUSIONES

Durante el proceso de diseño arquitectónico es importante y necesario integrar la planeación de la vida útil del proyecto, incluyendo sus componentes para reconocer las necesidades del mismo en materia de durabilidad y mantenimiento futuro. El método propuesto en este documento puede ser de utilidad no solamente para la etapa de diseño arquitectónico, sino también para las subsecuentes del ciclo de vida del proyecto, es decir, la fase de construcción y posteriormente la de uso, operación y mantenimiento del inmueble.

El método propuesto tiene como aportación tres estudios básicos que pueden fungir como herramientas de diseño, el primero se trata de la estimación de la vida útil del proyecto que prevé cuanto va a durar aproximadamente el inmueble y además nos brinda un dato confiable del edificio en proyección, no solamente por su importancia en conocer una vida de diseño, sino también para abrir paso a la generación de un plan de durabilidad, ya que en esta estimación se pueden identificar los puntos débiles en materia de durabilidad y así mejorar el diseño arquitectónico que evitará futuros deterioros y degradación del edificio y sus partes; segundo, se genera entonces un plan de durabilidad con base a estrategias de diseño y construcción del inmueble (programadas por rubro de deterioro, tales como afectaciones por agua, radiación solar, termitas, riesgos geológicos, etc.) lo cual mejora y prolonga la

vida útil del edificio y es un plan que va a ser de mucha utilidad para programar todas las actividades de mantenimiento y remplazos del edificio durante su uso y operación; y finalmente se genera un plan de mantenimiento en donde nos acerca o aproxima a las actividades que debemos realizar en el edificio para mantenerlo en vida útil, previendo así actividades de mantenimiento preventivo, correctivo, reparaciones y remplazos; lo cual hace de forma integral un proyecto más duradero y que proporciona un mayor rendimiento estético y funcional para lo cual fue diseñado y edificado.

FUENTES DE CONSULTA

BIBLIOHEMEROGRAFÍA

1. ABCB (Australian Building Codes Board) (2006), *Durability in buildings*, ABCB, Camberra, Australia.
2. AIJ (Architectural Institute of Japan) (1993), *The English edition of principal guide for service life planning of buildings*, AIJ, Japan.
3. BRE (Building Research Establishment) (2007), *Methodology for environmental profiles of construction products*, BRE, UK.
4. CSA (Canadian Standards Association) (2001), S478-95 (R2001), *Guideline on Durability in Buildings*, CSA, Canada.
5. EOTA (1999) "Assessment of working life of products", *EOTA guidance document 003*, European Organization for Technical Approvals, Brussels, Belgic.
6. GBC (Green Building Council) (2004), *LEED Canada™, Version 1.0*, Green Building Council, Canada.
7. Hernández-Moreno, S. (2008), "El diseño ambiental como herramienta para el desarrollo de la arquitectura y edificación en México" en *Acta Universitaria*, Vol. 18, Núm. 2, Universidad de Guanajuato, México.
8. Hernández Moreno, Silverio (2010a), *Diseño y manejo ambiental en edificación*, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
9. ISO (2000a), *ISO 15686-1:2000, Buildings and constructed assets-Service Life Planning, part 1: General Principles*, ISO, Switzerland.
10. ISO (2000b), *ISO 14042: Environmental management-Life cycle assessment-Life cycle impact assessment*, ISO, Switzerland.
11. ISO (2004), *ISO 15686-6, Buildings and constructed assets-Service life planning-Part 6: Procedures for considering environmental impacts*, ISO, Switzerland.
12. ISO (2006), *ISO 14040: Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework*, ISO, Switzerland.
13. ISO (International Standards Organization) (2001), *ISO 15686-2, Buildings and constructed assets-Service Life Planning, part 2: Service life prediction procedures*, ISO, Switzerland.

14. Lacasse, M. A. and Sjöström, C. (2003), "Methods for service life prediction of buildings materials and components-recent activities of the CIB W80/ RILEM 175-LSM, Proceedings of the International Workshop on Management of Durability" in the *Building Process*, June 01, (NRCC-45691), Mila, Italy.
15. LEED Canada (2004), *LEED Canada™, Version 1.0*, Green Building Council, Canada.
16. Marteinsson, B. (2005), Service life estimation in the design of buildings; a development of the factor method, Doctoral Thesis, ISBN 91-7178-026-2, KTH Research School, Centre for Built Environment, University of Gävle, Sweden.
17. Mayer, Peter (2005), *BLP Durability assessment, Final Report (020 7929 1366) for National Audit Office*, 6 de Julio, Building Life Plans Ltd, USA.
18. Talon, A., Boissier, D., Chevalier, J. L., Hans, J. (2004), A methodological and graphical decision tool for evaluating building component failure, CIB World Building Congress, Toronto, Canada.
19. USBC (United States Building Council) (2009), *LEED®, Guía de referencia versión 3.0*, USBC, Washington, D.C., USA.
20. Villas, B. R. C. (1995), *Ecological Development and the Advanced Materials*, Johnson, Brazil.
21. WBDG (Whole Building Design Guide) (2012), *Section 01 81 10 (Section 01120)-Facility Service Life Requirements*, WBDG, USA.

MESOGRAFÍA

1. Bourdeau, L. (1999), "Ecological development and the future of construction: a comparison of visions from various countries" in *Building Research and Information*, 27(6), [En línea] <http://www.sciencedirect.com/locate/matandstructures>, consultado el 14 de diciembre de 2013.
2. EU (2003), "Ecological construction, TG4:LCC" in *Construction-Final report*, [En línea] <http://europa.eu.int/comm/enterprise/construction/index.htm> for information, consultado el 31 de octubre de 2003.
3. Hernández Moreno, Silverio (2010b), "Integration of service life in the process of management and design of buildings" en *Management Research and Practice*, N° 2(4), [En línea] <http://um.ase.ro/>. E-ISSN 2067-2462, consultado diciembre de 2010.
4. Masters, L. W. And Brandt, E. (1989), "Systematic methodology for service life prediction of building materials and components" in *Materials and Structures/Matériaux et Construction*, [En línea] <http://www.sciencedirect.com/locate/matandstructures>, consultado el 22 de junio de 2013.
5. Sjöström, C. and Brandt, E. (1991), "Collection on In-service performance data: state-of-the-art Approach by CIB W80/ RILEM 100-TSL" in *Materials and Structures*, Vol. 24, N° 139, [En línea] <http://www.sciencedirect.com/locate/matandstructures>, consultado el 14 de septiembre 2013.
6. Trinius, W. y Sjöström, C. (2005), "Service life planning and performance requirements" in *International Journal on Building Research & Information* (March-April 2005), 33(2), [En línea] <http://www.tandfonline.com/loi/rbri25>, consultado 02 de febrero 2013.

ENCUENTROS ACADÉMICOS

1. Trinius, W. (2005b), Modules of environmental performance assessment related to durability and service life, 10th International Conference on Durability of building materials and components, 10 dbmc, April, Lyon, France.
2. Trinius, W. (2005a), Performance based building and ecological construction, CEN Construction Sector Network Conference, 25-26 April. Prague, Czech Republic.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Secretaría de Educación Pública (SEP) por el apoyo económico en el desarrollo y ejecución del presente proyecto de investigación.