

UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

Análisis del Ciclo de Vida en edificios institucionales de hormigón armado mediante la ISO 15686 para determinar la viabilidad de la ampliación o la demolición: Caso de estudio: Bloque FIHA D08 de la Uleam.

ELABORADO POR:

LÓPEZ CASTRO ROBERTH ARIEL

TUTOR (A):

ING. DOLLY DELGADO TOALA PhD.

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

Julio 2026

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A)	CÓDIGO: PAT-04 F 004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

Como tutor académico de la carrera de Ingeniería civil en la Universidad Latca "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico lo siguiente:

He supervisado y orientado la elaboración del trabajo de titulación, completando un total de 384 horas, bajo la modalidad de **Proyecto de Investigación**. El tema del proyecto se titula "ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA EN EDIFICIOS INSTITUCIONALES DE HORMIGÓN ARMADO MEDIANTE LA ISO 15686 PARA DETERMINAR LA VIABILIDAD DE LA AMPLIACIÓN O LA DEMOLICIÓN: CASO DE ESTUDIO: BLOQUE FIIA B08 DE LA ULEAM". Este proyecto ha sido desarrollado conforme a los lineamientos internos de la mencionada modalidad, y ha cumplido con los requisitos establecidos por el Reglamento de Régimen Académico. Por lo tanto, **certifico** que el proyecto mencionado posee los méritos académicos, científicos y formales necesarios para ser evaluado por el tribunal de titulación designado por la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado corresponde a Roberth Ariel López Castro, estudiantes de la carrera de Ingeniería civil, período académico 2026 (I), quien se encuentra apta para la sustentación de su trabajo de titulación.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a menos que la ley disponga lo contrario.

Manta, 24 de julio 2026.

Lo certifico,



Ing. Dolly Delgado Toala, PhD.

C.C. 130519033-0

Tutora

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, Roberth Ariel López Castro con CC: 135159635-6, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación con el tema **“ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA EN EDIFICIOS INSTITUCIONALES DE HORMIGÓN ARMADO MEDIANTE LA ISO 15686 PARA DETERMINAR LA VIALIDAD DE LA AMPLIACIÓN O LA DEMOLICIÓN: CASO DE ESTUDIO: BLOQUE FIIA D08 DE LA ULEAM”**, el cual fue dirigido por la tutora, Ing. Dolly Delgado Toala. PhD.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los 24 días del mes de julio de dos mil veinte y seis.



Roberth Ariel López Castro
C.C. 135159635-6
Autor

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación siguiendo la modalidad de Proyecto de Investigación, titulado: "ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA EN EDIFICIOS INSTITUCIONALES DE HORMIGÓN ARMADO MEDIANTE LA ISO 15686 PARA DETERMINAR LA VIALIDAD DE LA AMPLIACIÓN O LA DEMOLICIÓN: CASO DE ESTUDIO: BLOQUE FIHA D08 DE LA ULEAM" elaborado por el egresado: LOPEZ CASTRO ROBERTH ARIEL de la Carrera de Ingeniería Civil.

INGENIERO CIVIL

Aprobado por el Tribunal Examinador

Ing. Aldo Vásquez Arauz, Mg.

Miembro del Tribunal

Ing. Adolfo Villacreses Vera, Mg.

Miembro del Tribunal

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres y mis hermanos quienes fueron pilar fundamental, su sacrificio constante en cada paso de mi vida. A mi novia, por ser mi refugio y mi mayor apoyo en cada etapa de este camino, gracias por tu paciencia infinita, por escucharme en los momentos de duda y por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía. Este logro también lleva tu huella.

Roberth Lopez Castro

Agradecimientos

Agradezco a mi mamá y a mi papá, por ser mi pilar fundamental, por sus sacrificios, su amor incondicional y sus enseñanzas, gracias por creer siempre en mí y por respaldar cada uno de mis sueños.

A mis hermanos, por su compañía, por los ánimos constantes y por ser un apoyo incondicional en cada paso que doy.

A mi segundo padre, mi padre del Leonismo, Abg. Pedro Pihuave por sus sabios consejos, por enseñarme el verdadero valor del servicio, por sus palabras de aliento en los momentos de duda y por confiar siempre en mi potencial tanto en lo personal como en lo profesional.

A mi novia Nadine, por su amor, paciencia y comprensión inagotable durante todo este proceso, gracias por ser mi refugio en los días más pesados, por escucharme en los momentos de estrés y por celebrar conmigo cada avance.

A mi tutora de tesis, la Dra. Dolly Delgado Toala por su tiempo, valiosa orientación, paciencia y criterio profesional a lo largo de este proyecto de investigación, su guía fue fundamental para culminar con éxito este trabajo.

A la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, por haberme abierto las puertas y brindarme las herramientas necesarias para mi formación profesional.

Un agradecimiento especial y con mucho cariño a mis queridas mascotas que ya no están conmigo, gracias por su compañía incondicional y por haberme brindado tanta paz en los momentos de mayor esfuerzo, su recuerdo sigue vivo en este logro.

Roberth Lopez Castro

Resumen

Las instituciones educativas deben afrontar el reto de manejar infraestructuras antiguas, en Ecuador, gran parte de las edificaciones universitarias fue levantada bajo normativas que no están actualizadas desde antes de la NEC – 15, lo que provoca dudas sobre la seguridad estructural en áreas con alto riesgo sísmico como Manabí. El bloque FIIA D08 de la Uleam, construido en 1986, está bajo presión para expandirse verticalmente debido al aumento en la matrícula, no obstante, no dispone de un análisis exhaustivo que evalúe su vida útil restante frente a daños por agentes marinos y sismos acumulados. En este aspecto, el propósito de este estudio es identificar la opción más adecuada entre reconstruir o demoler el Bloque FIIA D08 utilizando la metodología ISO 15686. La investigación tiene un enfoque cuantitativo, no experimental y es de tipo descriptivo – evaluativo, se llevó a cabo una revisión de documentos existentes, a partir de esta información se creó una matriz homogenización con 7 cofactores siguiendo la Norma ISO 15686, cuyo análisis matemático fueron gestionados a través de la programación en Python. Como resultado la implementación de la norma ISO 15686 disminuyó la vida útil de diseño de 90 años a una Vida Útil Estimada de 39.80 años a causa de daños por corrosión de cloruros, la falta de actualización normativa y carencia de mantenimiento. Con una antigüedad de 40 años, el edificio muestra una vida útil residual agotada de -0.2 años, determinándose únicamente e indiscutiblemente que la demolición definitiva es la única alternativa viable.

Palabras clave: Vida útil, ISO 15686, Edificaciones Institucionales

Abstract

Educational institutions face the challenge of managing aging infrastructure; in Ecuador, many university buildings were constructed under outdated standards predating the NEC-15 code, raising concerns regarding structural safety in high-seismic-risk areas like Manabí. Uleam's Block FIIA D08, built in 1986, is under pressure to expand vertically due to rising enrollment; however, there is no comprehensive analysis evaluating its remaining service life in light of accumulated damage from marine exposure and seismic activity. This study aims to identify the most suitable option—reconstruction or demolition—for Block FIIA D08 using the ISO 15686 methodology. The research employs a quantitative, non-experimental, descriptive-evaluative approach. A review of existing documentation was conducted to create a standardization matrix featuring seven factors based on the ISO 15686 standard, with mathematical analysis performed using Python programming. The application of the ISO 15686 standard resulted in a reduction of the design service life from 90 years to an Estimated Service Life of 39.80 years, driven by chloride-induced corrosion, outdated standards, and a lack of maintenance. With an age of 40 years, the building shows a depleted residual service life of -0.2 years, leading to the definitive and indisputable conclusion that demolition is the only viable alternative.

Keywords: Service life, ISO 15686, Institutional buildings

Índice

CAPÍTULO I.....	14
1. INTRODUCCION	14
1.1 Planteamiento del problema	15
1.1.1 Formulación del problema	16
1.2 Justificación.....	16
1.3 Objetivos.....	18
1.3.1. Objetivo general.....	18
1.3.2. Objetivos específicos	18
1.4 Hipótesis	18
1.5 Estructura de la tesis.....	19
CAPÍTULO II	20
2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Estado del arte	20
2.2 Definiciones.....	25
2.2.1 Concepto de Hormigón Armado	25
2.2.2 Breve reseña del hormigón armado	25
2.2.3 ¿Que son las estructuras institucionales de hormigón armado?	26
2.2.4 Ampliación Vertical en Edificios Institucionales	27
2.2.5 Reforzamiento Estructural	29
2.2.6 Demolición Selectiva	31
2.2.7 Ciclo de Vida de una Edificación.....	33
2.2.8 Vida Útil de las Estructuras.....	34

2.2.9 Diseño estructural	36
2.2.10 Vida Útil Residual o Remanente	37
2.2.11 ISO 14040: Análisis del ciclo de vida	39
2.2.12 ISO 15686: Método de Cofactores	42
2.2.13 Propósito y Alcance de la Norma ISO 15686	44
2.3 Marco Normativo	48
2.3.1 Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15):	48
2.3.2 Normativas Internacionales (ISO)	51
CAPÍTULO III	54
3. MARCO METODOLÓGICO	54
3.1 Determinación de Variables	54
3.1.1 Variable Independiente	54
3.1.2 Variable Dependiente.	55
3.2 Revisión documental y recopilación de información técnica	55
3.3 Identificación de factores de vida útil	57
3.4 Parámetros de partida obtenidos mediante revisión documental para la aplicación de la norma ISO 15686	58
3.4.1 Datos de Caracterización General y Geometría del Bloque (Cofactor A y E)	58
3.4.2 Antecedentes de los materiales de construcción (Cofactor B)	59
3.4.3 Datos de Vulnerabilidad de Inspección Visual (Cofactor C, D, F y G)	60
3.5 Ponderación de Cofactores de la metodología ISO 15686	60

3.5.1 Procesamiento de cofactores de la ISO 15686 mediante Python.....	63
3.6 Procedimiento de presentación de la evaluación técnica de remodelación o demolición	68
3.6.1 Técnica de triangulación y análisis comparativos de datos	71
CAPÍTULO IV.....	72
4. RESULTADOS.....	72
4.1 Ponderación de la Matriz de Cofactores (ISO 15686).....	73
4.1.1 Cofactor A - Diseño estructural.....	73
4.1.2 Cofactor B - Calidad de materiales	74
4.1.3 Cofactor C - Ambiente Interior	76
4.1.4 Cofactor D - Ambiente exterior	77
4.1.5 Cofactor E - Calidad de ejecución Constructiva	78
4.1.6 Cofactor F - Condiciones de uso.....	79
4.1.7 Cofactor G - Nivel de Mantenimiento	81
4.2 Cálculo de la Vida Útil de Estimada (ISO 15686-1)	82
4.3 Cálculo de la Vida útil residual.....	85
4.4 Triangulación y Análisis Comparativo de Resultados	86
4.4.1. Interpretación Final.....	- 88 -
CAPITULO V	- 90 -
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 90 -
5.1 Conclusiones.....	- 90 -
5.2 Recomendaciones	- 91 -
6. BIBLIOGRAFÍA.....	- 93 -

7. ANEXOS.....	- 99 -
7.1 Matriz de Homogenización de Indicadores	- 99 -
7.2 Algoritmo computacional para la estimación de la Vida Útil (VUE).....	- 103 -
7.3 Resultados del ensayo de esclerómetro en columnas exteriores. (Zambonino, 2025)	- 104 -
7.4 Formulario de detección visual Zambonino (2025).	- 107 -
7.5 Plano arquitectónico del edificio principal de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura, bloques de civil y eléctrica	108
7.6 Derivas con respecto al cortante basal.....	109
7.6.1 Derivas con respecto al cortante basal en Sismo X.	109
7.6.2 Derivas con respecto al cortante basal en Sismo Y.	109

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Bloque FIIA D08, ULEAM.....	26
Ilustración 2. Ampliación vertical en Edificios	28
Ilustración 3. Reforma estructural de Edificio	30
Ilustración 4. Residuos de construcción y demolición	32
Ilustración 5. Ciclo de vida de la Edificación	33
Ilustración 6 . Materiales de construcción: la base técnica de toda obra eficiente	35
Ilustración 7 . Grietas estructurales internas ¿cómo detectarlas?	37
Ilustración 8 . Etapas de la vida útil de un edificio.	38
Ilustración 9. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marcos de referencia.	39

Ilustración 10 . Analisis del ciclo de vida: Qué es, como calcularlo y sus beneficios para las empresas.....	40
Ilustración 11. Fases del análisis de ciclo de vida de un producto	42
Ilustración 12 . Norma Ecuatoriana de la Construcción.	49
Ilustración 13Análisis de vulnerabilidad sísmica.....	50
Ilustración 14Norma ISO 14044	52
Ilustración 15. Modelo de Degradación de vida útil -Bloque FIIA D08.....	85

Índice de Tablas

Tabla 1. Cofactores para análisis del ciclo de vida de una edificación patrimonio	45
Tabla 2. Fuente de Información.....	55
Tabla 3. Factores de vida útil	57
Tabla 4. Factores de ajuste	61
Tabla 5. Condición de evaluación de cofactores	62
Tabla 6. Identificación de cofactores.....	64
Tabla 7. Indicadores de cofactores	65
Tabla 8. Clasificación de valores de cofactores	66
Tabla 9. Variables de evaluación	67
Tabla 10. Cálculo de la Vida Útil estimada	83

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCION

El manejo de la infraestructura en las instituciones de educación superior (IES) y en el ámbito de la obra pública en general, se enfrenta a un desafío crítico en relación con las edificaciones con varias décadas de prestación. Estas estructuras, edificadas históricamente bajo normativas estructurales preliminares a los códigos modernos (como la NEC-2015 en Ecuador), exhiben una desalineación en términos de desempeño sísmico, resistencia real de materiales y, sobre todo, capacidad de carga para nuevas ampliaciones. Debido a esta necesidad se impone un análisis riguroso para determinar si una estructura vieja puede ser reforzada y ampliada para sobrellevar cargas adicionales o si su estado exige la demolición y reconstrucción de un nuevo sistema, la decisión es compleja y requiere la validación de un proceso metodológico que garantice la seguridad y la eficiencia de la inversión.

El bloque FIIA D08, perteneciente a la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, da origen a un edificio académico con más de treinta años de funcionamiento, fue construido bajo normativas estructurales de la década de 1980, por lo cual sus características no se ordenan por completo con las exigencias actuales determinadas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015), especialmente en aspectos sísmicos, resistencia de materiales y capacidad para ampliaciones verticales o adaptaciones futuras.

Varios levantamientos preliminares, ensayos no destructivos y análisis estructurales han demostrado condiciones de deterioro progresivo, entre ellas debilidades en elementos críticos, deterioro del material debido a exposición ambiental y deficiencias derivadas del diseño original, estos aspectos forman incertidumbre acerca de su capacidad para resistir adecuadamente cargas operativas, posibles ampliaciones y, particularmente, eventos sísmicos

características de la región litoral del Ecuador. El crecimiento continuo del número de estudiantes y la demanda de nuevos espacios de aprendizaje han hecho impredecible evaluar alternativas viables para el futuro del edificio FIIA D08, esto incluye la opción de su posible mejora o la construcción de una nueva instalación, decisiones que exigen un análisis técnico completo para ayudar a reducir riesgos para la comunidad educativa y garantizar un uso correcto de los recursos de la institución.

1.1 Planteamiento del problema

Con el paso del tiempo, las universidades han tenido que enfrentarse el reto de gestionar construcciones que han estado en uso durante años y que necesitan ajustarse a nuevas necesidades funcionales, reglamentarias y de seguridad. El deterioro de las instalaciones, combinado con el aumento en la demanda de espacios educativos, obliga a las instituciones a revisar la posibilidad de conservar, restaurar o reemplazar su infraestructura. En Ecuador una gran parte del patrimonio universitario fue levantado con normativa sísmicas ahora consideradas obsoletas (anteriores de la NEC -15), esta situación genera dudas sobre su estado actual frente a las exigencias sísmicas actuales especialmente en áreas de alto riesgo sísmico como la provincia de Manabí.

Por ello, la toma de decisiones sobre la intervención de edificaciones constituye uno de los principales retos para la Ingeniería civil, decidir si una construcción necesita ser fortalecida o demolida implica una evaluación completa que considere factores tanto como la seguridad de la estructura, su funcionalidad, su resistencia y su sostenibilidad, dado que optar solo por una revisión visual o por la prisa de falta de espacio puede ser peligroso y poner en riesgo la seguridad de quienes utilizan la edificación.

El Bloque FIIA D08 de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí representa un caso de estudio relevante. Debido a la antigüedad del edificio y a los requerimientos actuales de

expansión para cubrir la demanda académica, la institución se encuentra ante la urgencia de una ampliación. Sin embargo, actualmente no se dispone de un estudio integral que combine el análisis de la vida útil remanente con los costos e impactos del ciclo de vida, la ausencia de datos objetivos impide determinar con rigor científico si la estructura es apta para una rehabilitación o si ya ha cumplido su ciclo de vida, demandando una demolición total para garantizar la seguridad de la comunidad universitaria.

1.1.1 *Formulación del problema*

¿Cómo permite la aplicación de la metodología ISO 15686 determinar la viabilidad entre remodelar o demoler una edificación institucional de hormigón armado?

1.2 Justificación

La presente investigación surge de una problemática recurrente en el área de la Ingeniería Civil: la toma de decisiones respecto a la intervención de edificaciones, especialmente cuando se debe definir si una estructura debe ser reformada y adaptada a nuevas necesidades o si resulta conveniente su demolición. Esta decisión implica considerar factores técnicos, económicos y de seguridad, por lo tanto, no se puede sustentar solo en criterios subjetivos o apreciaciones visuales, sino en evaluaciones técnicas que permitan determinar de manera objetiva el estado real de la Infraestructura.

En este aspecto, la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí específicamente el Bloque FIIA D08 enfrenta la necesidad de ampliar su capacidad física debido al incremento de la población estudiantil y a su limitada disponibilidad de terreno dentro del campus universitario. Como alternativa, la institución solicita una expansión vertical de su infraestructura, sin embargo, antes de incorporar nuevas cargas gravitacionales y sísmicas a la estructura existente, es indispensable conocer si el edificio aún cuenta con vida útil remanente o si ya cumplió su ciclo de servicio.

El Bloque FIIA D08 en estudio, fue diseñado bajo normas sismorresistentes anteriores a la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-15), situación que podría representar una brecha entre las exigencias de diseño consideradas en su construcción frente a las demandas sísmicas actualmente establecidas para la zona costera. La construcción ha estado sometida a lo largo del tiempo a diversas condiciones que pueden influir en su resistencia y eficacia tales como, el desgaste natural de los materiales, sustancias corrosivas en entornos marítimos, como los cloruros y los efectos acumulativos de fuertes movimientos sísmicos como el terremoto de la de magnitud 7.8 que tuvo lugar en el 2016.

Ante esta realidad es crucial realizar un análisis de las condiciones existentes de la estructura desde un enfoque holístico que contemple no solo su integridad estructural sino también su vida útil restante. Para ello, la metodología propuesta por la norma ISO 15686 constituye una herramienta viable, dado que permite estimar la vida útil de la estructura mediante análisis de factores relacionados con la calidad de los materiales, el diseño, las condiciones ambientales, el uso y el mantenimiento de la Infraestructura.

Los resultados de esta investigación permitirán determinar si el Bloque FIIA D08 dispone de una vida útil suficiente para justificar técnicamente su remodelación y ampliación, o sí, por el contrario, las condiciones de deterioro indican que la edificación ha alcanzado su ciclo de servicio. Este estudio contribuirá al campo profesional y académico, ayudará a tomar decisiones sobre la gestión de infraestructura universitaria especialmente en zonas con amenaza sísmica como Manabí, basadas en criterios técnico, priorizando la seguridad de la comunidad universitaria y optimizando los recursos de futuras intervenciones en infraestructura educativa.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar el Ciclo de Vida en edificios institucionales de hormigón armado mediante la norma ISO 15686 para determinar la viabilidad de la ampliación o la demolición del Bloque FIIA D08 de la ULEAM.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar las condiciones estructurales, funcionales y ambientales que influyen en la durabilidad de edificaciones institucionales de hormigón armado a través de la revisión documental y estudios técnicos previos.
- Determinar la vida útil remanente de edificaciones institucionales de hormigón armado mediante la aplicación de la metodología ISO 15686 y su ejecución computacional en Python.
- Evaluar la viabilidad técnica de la remodelación frente a la demolición mediante el análisis de la vida útil remanente del Bloque FIIA D08 como caso de estudio.

1.4 Hipótesis

La hipótesis de este trabajo sostiene que el bloque FIIA D08 ha finalizado su vida útil operativa por lo que la demolición y construcción nueva es la alternativa factible para la edificación, además se plantea que el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) demostrará dado que físicamente no soporta la ampliación, cualquier intento de reforzarla o remodelar exigirá una cantidad tan masiva de nuevos materiales, intervenciones cíclicas y mantenimiento, demostrando de esta manera que la opción es ambiental y económicamente inviable en comparación con una demolición selectiva.

1.5 Estructura de la tesis

El desarrollo de esta investigación se desglosa a través de cinco capítulos:

Capítulo I: Este apartado es la introducción en donde delimita los objetivos del estudio, enfatizando la necesidad de realizar un análisis comparativo que establezca la viabilidad técnica de las intervenciones, además, se formaliza la hipótesis, la cual demanda que la demolición controlada constituye la alternativa más eficiente para garantizar la resiliencia estructural.

Capítulo II: Establece la base conceptual sobre el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y las normativas vigentes, con especial énfasis en la ISO 15686 sobre la planificación de la vida útil de edificaciones, se examinan los mecanismos de degradación del hormigón armado, los principios de la sostenibilidad aplicados a la gestión de activos institucionales de hormigón.

Capítulo III: Se detalla el criterio de selección y validación de los resultados obtenidos de ensayos previos (esclerometría y pachometría), estableciendo la lógica empleada para procesar dicha información y aplicarla a la asignación de los cofactores de durabilidad (B y E) bajo la normativa ISO 15686.

Capítulo IV: En este apartado se aplica la metodología de la norma ISO 15686 mediante la asignación de los cofactores de durabilidad, permitiendo establecer técnicamente que el Bloque FIIA D08 ha agotado su vida útil operativa, los resultados sirven como base para fundamentar la necesidad de demolición frente a una ampliación vertical.

Capítulo V: Sintetiza los hallazgos fundamentales, ratificando el cumplimiento de los objetivos específicos y la validez de la hipótesis planteada, finalmente, se formulan recomendaciones técnicas y estratégicas dirigidas a la administración universitaria, orientadas a la adopción de prácticas constructivas que prevalezcan la seguridad estructural y la sostenibilidad ambiental a largo plazo.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

El trabajo investigativo denominado “Predicción de la vida útil de las estructuras” de Arcila & Helene (2004) aporta un modelo matemático y conceptual, los autores detallan el "Modelo de Tuutti", que divide la vida de la estructura en los periodos de iniciación y propagación, este permite sustentar que el diagnóstico no debe ser solo visual; es necesario identificar si el frente de carbonatación o los cloruros ya alcanzaron el acero de refuerzo. Arcila & Helene (2004) discuten que una estructura puede parecer sana exteriormente, pero puede estar en una fase de propagación avanzada que haría que la "remodelación" fuera técnicamente inviable si no se detiene el proceso electroquímico de corrosión.

Mientras que, Yugovich (2010) establece una base crítica al cuestionar la creencia de que las estructuras de hormigón no son eternas en su investigación: “Vida Útil de las Estructuras-Dónde Estamos y Hacia Dónde Vamos?”, el autor explica que el auge constructivo de las décadas de los 70 y 80 no consideró la durabilidad como un parámetro de diseño, sino únicamente la resistencia mecánica, este documento es fundamental porque justifica la necesidad de evaluar estructuras que ya han superado los 20 o 30 años de servicio, donde la visión de patologías como la corrosión de armaduras no es una excepción, sino una consecuencia de una planificación que ignoró los ciclos de vida y el mantenimiento sistemático.

En cuanto a la durabilidad de los materiales, Pérez (2020) ofrece una guía exhaustiva sobre las enfermedades del hormigón desde su origen químico en su investigación “Patología De Los Materiales Constitutivos Del Hormigón Armado”, tienen su origen en la calidad de los materiales originales, como el tipo de cemento o la reactividad de los áridos, el texto enfatiza que la durabilidad está ligada a la porosidad y a la protección que el hormigón brinda al acero,

lo cual es un argumento clave para resolver si el bloque puede recuperarse mediante tratamientos superficiales o si el daño estructural es sistémico.

El impacto ambiental es un factor importante a considerar en la renovación de estructuras, por ello, en la investigación de Jørgensen et al. (2025) se evalúa la variable del ambiente climático (ACV) y la profundidad de esta como factor decisivo en su trabajo “Evaluación del impacto ambiental de la profundidad de la renovación de edificios: una perspectiva danesa” que se enfoca en distintas estrategias de rehabilitación frente a la demolición de estructuras. Este estudio determina qué, aunque la renovación puede ser menos intensiva en carbono que una nueva construcción, la no estandarización en métodos de ACV puede generar inconvenientes a la hora de toma de decisiones.

Por otro lado, Palacios-Munoz et al., (2019) en su trabajo investigativo sobre “Influencia de la rehabilitación y la vida útil de estructuras de hormigón armado en la estimación del impacto ambiental” mencionan que, la vida útil de una edificación influye significativamente en los resultados de un análisis de ciclo de vida (ACV) y es equivalente a su estructura. También señalan que las estructuras de hormigón tienen una vida útil potencial mayor que el nivel mínimo indicado en sus normativas, debido a que el hormigón está sujeto a degradación y envejecimiento en el tiempo y existen varios modelos para evaluar estos efectos. Para determinar la vida útil en un análisis de ciclo de vida (ACV) es importante tomar en consideración la estrategia adecuada para cada caso de estudio específico.

El trabajo de Sánchez et al. (2022) “Método de análisis del estado de conservación y vida útil para edificaciones de hormigón de la época moderna en Colombia” menciona aspectos importantes para este estudio por su cercanía geográfica y climática, los autores proponen un método de análisis del estado de conservación específicamente para edificaciones modernas de hormigón, el aporte principal es la creación de matrices de evaluación que permiten puntuar el

estado de una edificación. Aplicar este enfoque a la presente investigación permitirá objetivar la decisión de "demoler": si el índice de conservación del bloque D08 cae por debajo de los umbrales propuestos, la demolición se presenta como una recomendación técnica basada en evidencia científica y no solo en una percepción estética.

Con relación a factores que intervienen en la vida útil de edificaciones, Li et al., (2025) en una revisión crítica sobre “Predicción de la vida útil de estructuras de hormigón dañadas o agrietadas” indicaron que la presencia de grietas no es solo un problema de estética, sino un factor que acelera el deterioro en entornos erosivos como carbonatos, cloruros o ciclos de congelación y descongelación. Los autores de esta revisión destacan la toma de decisiones sobre si conservar o demoler una estructura depende críticamente de su degradación y proponen que la predicción de vida útil debe integrar mecanismos de deterioro complejo para poder determinar si una estructura que presenta fisuras tiene la capacidad remanente necesaria para justificar su rehabilitación.

Referente a la sostenibilidad económica y medioambiental, el trabajo de García-Erviti et al., (2015) con título “El análisis del coste de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible, estado de la cuestión” los autores explican la importancia de aplicar la metodología de Coste del Ciclo de Vida (CCV) como una herramienta de soporte esencial para la toma de decisiones para la evaluación de proyectos económicos y medioambientalmente factibles. El CCV no se limita a la construcción de una nueva obra, sino que es indispensable como opción para contemplar la intervención, debido a que, rehabilitar o sustituir una edificación requiere contemplar costes por la gestión de vida útil, demolición, gestión de residuos al final del ciclo, por ello, el aspecto técnico es fundamental para determinar la viabilidad de remodelar frente a la demolición.

Por otro lado, la norma ISO 15686 es una metodología que se aplica para estimar el tiempo de vida útil de una estructura, Brito & Atalaya (2023) en su estudio sobre “Estimación del tiempo de vida residual de dos edificaciones con sistema dual aplicando la norma ISO 15686” detalla la práctica de la norma ISO 15686 para sistemas estructurales duales, las autoras plantean un método de "factores de ajuste" donde la vida útil de diseño se multiplica por variables como la calidad de la realización, el ambiente interior y exterior, y el nivel de mantenimiento. Este párrafo es crucial porque permite calcular cuántos años "reales" de vida le quedan a una edificación, si los factores de mantenimiento han sido bajos como suele ocurrir en edificios públicos, la vida residual se acorta drásticamente, inclinando la balanza hacia la necesidad de una intervención mayor o demolición.

Así mismo, la normativa ISO 14044 constituye el marco legal y metodológico de la presente tesis, el documento con título “ISO 14044:2006(es) Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Requisitos y directrices” de Online Browsing Platform (OBP) (2006), define que un análisis de ciclo de vida (ACV) debe ser transparente y cubrir desde la cuna hasta la tumba, esta cita es la que da rigor científico al análisis ambiental: no podemos decir que demoler es "malo" sin seguir los pasos de definición de objetivos, análisis de inventario y evaluación de impacto que dicta esta norma, es el pilar que sostiene toda tu comparación de impactos entre la estructura existente y una nueva propuesta.

Por su parte, Sanchez et al., (2022), en su investigación titulada “*Método de análisis del estado de conservación y vida útil para edificaciones de hormigón de la época moderna en Colombia*”, proponen un enfoque metodológico mixto para diagnosticar la durabilidad de estructuras existentes de hormigón armado bajo los lineamientos de la norma ISO 15686, los autores emplearon un protocolo que vincula la revisión histórica con el trabajo de campo, ejecutando ensayos no destructivos, como el escaneo de aceros de refuerzos y ensayos destructivos, específicamente la extracción de núcleos para fallado a compresión y la aplicación

de fenolftaleína para determinar el frente de carbonatación, mediante la ponderación cualitativa y cuantitativa de los siete cofactores metodológicos estipulados por la normativa internacional (calidad de componentes, nivel de diseño, ejecución, condiciones internas, exposición exterior, uso y mantenimiento), el estudio determinó que variables operativas y de gestión, como el abandono estructural y la carencia de planes de conservación preventiva, castigan drásticamente la Vida Útil Estimada (VUE) de la edificación, reduciéndola a un máximo de 60 años. El aspecto clave de esta investigación consiste en evidenciar que la ISO 15686 no es simplemente un recurso para la proyección a futuros en proyectos nuevos, sino que también actúa como un método científico que evalúa las etapas del ciclo de vida de edificaciones antiguas, esto proporciona una base técnica imparcial para decidir si se debe intervenir restaurar o desmantelar los activos siguiendo principios de sostenibilidad urbana.

Tomando como referencia el artículo de “¿Renovate or replace? Consequential replacement LCA framework for buildings” de Huuhka et al. (2023) nos indican que los edificios nuevos, aunque sean muy eficientes energéticamente, tardan entre 10 y 50 años en "pagar" la deuda de carbono que generaron durante su construcción, lo que nos hace pensar que el argumento principal para defender la remodelación: incluso si el bloque D08 es energéticamente ineficiente, demolerlo y construir uno nuevo podría empeorar la huella de carbono de la universidad en las próximas décadas.

De acuerdo también a la renovación, Fahlstedt et al. (2024) resalta en su estudio sobre “Building renovations and life cycle assessment - A scoping literature review” la aplicación del Análisis del Ciclo de Vida en las renovaciones alrededor del mundo, también destaca que existe una brecha en la literatura sobre cómo tratar los materiales que ya existen en el edificio al momento de la renovación.

Finalmente, Van Den Berg et al. (2023) en su estudio “Decision-support for selecting demolition waste management strategies” aborda qué sucede si la decisión final es la demolición, el autor propone herramientas de soporte para decidir si los materiales resultantes deben ser reusados, reciclados o recuperados, si el presente análisis técnico y de vida residual concluye que el bloque D08 debe demolerse, Van Den Berg et al. (2023) aportara la metodología para que esa demolición sea "selectiva" y circular, minimizando el daño ambiental mediante la gestión inteligente de los residuos de construcción.

2.2 Definiciones

2.2.1 Concepto de Hormigón Armado

El hormigón también conocido concreto, es una mezcla de cemento, arena y grava que utiliza agua para obtener una mezcla homogénea de sus componentes, es una pasta moldeable que se caracteriza por alcanzar resistencia conforme van pasando los días logrando un 90% durante los 28 días (Echeverry Patiño, 2017). El hormigón, es uno de los materiales más utilizados en la construcción, es conocido por su durabilidad y resistencia, sin embargo, el paso del tiempo y la exposición a determinados factores ocasionan diferentes patologías que comprometen su integridad. Para impedir que estos daños avancen y afecten la seguridad estructural, es crucial detectar y tratar las patologías del hormigón a tiempo (Pérez, 2020).

2.2.2 Breve reseña del hormigón armado

La adopción masiva del hormigón armado como el material predilecto para la construcción de la infraestructura del Estado e institucional consolidó los procesos de modernización urbana a lo largo del siglo XX. Históricamente la evolución de las construcciones a partir del materiales convencionales como la mampostería o la madera hacia el uso del hormigón armado, surgió por la necesidad de disponer de recursos que brindarán mayor flexibilidad arquitectónica, resistencia superior al fuego y lo más importante una

durabilidad extendida que se ajusta a los presupuestos públicos de manera sostenible, este avance tecnológico requirió adaptar los principios universales del diseño estructural a las condiciones climáticas y materiales disponibles en cada área creando las bases de la ingeniería estructural actual.

2.2.3 ¿Que son las estructuras institucionales de hormigón armado?

Las estructuras institucionales de hormigón armado representan una categoría fundamental dentro de la infraestructura civil y la planificación urbana, desde una perspectiva puramente técnica, se definen como aquellos sistemas de edificación cuyo esqueleto resistente está compuesto por una matriz combinada de hormigón que aporta una óptima resistencia a los esfuerzos de compresión y barras de acero de refuerzo embebidas, encargadas de absorber las tensiones de tracción, flexión y cortante (Latorre Aizaga, 2024).

Sin embargo, lo que diferencia sustancialmente a estas estructuras de las edificaciones residenciales o comerciales comunes es su función social, administrativa o educativa y su régimen operativo de alta intensidad, las infraestructuras institucionales, al albergar centros de educación, sedes gubernamentales u hospitales, son catalogadas como edificaciones esenciales o especiales debido a sus altas tasas de ocupación masiva y a la obligatoriedad técnica de garantizar la salvaguarda de la vida humana y la continuidad del servicio tras la ocurrencia de eventos sísmicos o catástrofes naturales (Villao-Vera, 2022).



Ilustración 1. Bloque FIIA D08, ULEAM

Obtenido de: <https://www.uleam.edu.ec/ingenieria-diversifica-su-campo-de-accion-hacia-entidades-publicas/>

2.2.3.1 Evaluación integral de estructuras institucionales

La definición de estas estructuras ha evolucionado sustancialmente, hoy en día, una estructura institucional de hormigón armado no se evalúa únicamente bajo criterios estáticos de resistencia última, sino mediante un análisis predictivo y continuo de su desempeño estructural residual frente al envejecimiento natural y las patologías crónicas de los materiales (Villao-Vera, 2022). Factores como la porosidad de la matriz cementosa, la dosificación de la mezcla y el nivel de exposición ambiental dictan la velocidad con la que se desarrollan fenómenos como la carbonatación o el ataque por cloruros, los cuales comprometen la integridad del acero de refuerzo.

Por consiguiente, la gestión moderna de estas infraestructuras públicas exige una evaluación integral que armonice el comportamiento sismo-resistente dictado por los códigos de diseño contemporáneos con criterios avanzados de sostenibilidad y eco-eficiencia (Latorre Aizaga, 2024). Esto significa que al analizar edificios institucionales que ya han terminado su vida útil o requieren cambios funcionales tales como ampliaciones verticales, es fundamental que la ingeniería aplique enfoques científicos para examinar el resto del ciclo de vida, esto facilitará una evaluación técnica para discernir si la edificación puede ser rehabilitada de forma segura o si es más conveniente proceder a su demolición de acuerdo a los principios de la economía circular.

2.2.4 Ampliación Vertical en Edificios Institucionales

La ampliación vertical reconocida en la literatura científica internacional bajo términos como vertical extension, vertical expansión o rooftop extensión, se define como la adición de nuevos niveles o volúmenes contruidos sobre la cubierta superior de una edificación anfitriona preexistente (Sanei et al., 2025). La infraestructura pública y universitaria, esta práctica responde directamente a lo que (Ramos Monori, 2012) describe como la necesidad de mitigar nuevas circunstancias de la política académica institucional, tales como el déficit de aulas,

laboratorios o cubículos de investigación, permitiendo optimizar las asignaciones de horarios y racionalizar los recursos físicos sin requerir la adquisición de nuevos terrenos, de este modo, la expansión hacia arriba se consolida como una estrategia clave para la densificación urbana y la optimización del espacio aéreo en campus consolidados, evitando la dispersión horizontal y reduciendo los costos iniciales asociados a la cimentación y adquisición de suelo (Sanei et al., 2025).

2.2.4.1 Viabilidad técnica de ampliación en estructuras institucionales

La viabilidad de una ampliación vertical en edificios institucionales exige un riguroso análisis analítico y experimental debido a la interacción dinámica que se genera entre la estructura base y los nuevos niveles introducidos. (Garduño Chávez, s/f) señala que es imperativo ejecutar estudios y evaluaciones estructurales profundas que verifiquen las condiciones de regularidad geométrica, los desplazamientos, las distorsiones de entrepiso y la relación de capacidad de carga tanto en la superestructura como en la subestructura.



Ilustración 2. Ampliación vertical en Edificios

Obtenido de: https://es.123rf.com/photo_151522199_construcci%C3%B3n-de-viviendas-estructura-de-hormig%C3%B3n-de-un-edificio-residencial.html

En zonas de alta sismicidad, la introducción de cargas permanentes y variables adicionales incrementa la masa y las fuerzas de inercia, lo que obliga al cumplimiento estricto de las cuantías de acero y exigencias de los códigos de diseño modernos; si la estructura original carece de la reserva de capacidad mecánica o presenta patologías de degradación por envejecimiento, el escenario de intervención se vuelve técnicamente inviable, requiriendo un reforzamiento estructural masivo o, en su defecto, dictaminar la deconstrucción del bloque (Sanei et al., 2025)

2.2.4.2 Sostenibilidad en ampliaciones de estructuras verticales

La pertinencia de este tipo de intervenciones no solo se limita a la verificación mecánica de los elementos portantes, sino que se alinea fuertemente con los objetivos globales de desarrollo sostenible mediante la preservación del carbono embebido de la edificación existente, al reutilizar los cimientos y los pórticos de hormigón originales, se evita el consumo de nuevos recursos y se minimiza la generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en comparación con una demolición total y posterior reconstrucción (Sanei et al., 2025). Para que este balance ambiental sea favorable, la ingeniería contemporánea prescribe el uso de sistemas constructivos ligeros y tecnologías secas como estructuras metálicas auxiliares o paneles prefabricados modulares sobre la azotea existente, garantizando un menor impacto acústico, una ejecución acelerada y una reducción de las sobrecargas gravitacionales sobre la estructura anfitriona (Ramos Monori, 2012).

2.2.5 Reforzamiento Estructural

El reforzamiento estructural se define como el conjunto de modificaciones operativas y analíticas aplicadas a los elementos portantes de una edificación con el objetivo de incrementar su capacidad de carga, rigidez, ductilidad o estabilidad frente a nuevas demandas de servicio o actualizaciones normativas (Arias & Guaman, 2022). A diferencia de la reparación superficial, que se limita a corregir daños locales estéticos o menores sin alterar la configuración mecánica,

el reforzamiento interviene directamente en la respuesta global del sistema sismo-resistente, esta práctica es fundamental para prolongar la vida operativa de inmuebles que han experimentado procesos degenerativos o que pretenden ser sometidos a modificaciones arquitectónicas severas.



Ilustración 3. Reforma estructural de Edificio

Obtenido de: <https://maxmetalcr.com/portfolio/reforma-estructural-de-edificio-existente-en-parque-empresarial/>

2.2.5.1. Reforzamiento en estructuras de hormigón armado

La necesidad de implementar un esquema de reforzamiento en estructuras de hormigón armado surge principalmente ante la presencia de patologías crónicas como la corrosión de armaduras, la carbonatación o la pérdida de sección del núcleo del hormigón, así como por la actualización de los espectros de peligro sísmico de los códigos de diseño nacionales (YANKO, 2017). De acuerdo con (Arias & Guaman, 2022), muchas edificaciones existentes fueron proyectadas bajo normativas históricas permisivas, lo que introduce una alta vulnerabilidad sísmica debido a la falta de confinamiento en nudos y cuantías de acero insuficientes en columnas y vigas, por lo tanto, el reforzamiento busca restituir e incrementar las reservas de capacidad mecánica para garantizar que la edificación satisfaga los estados límite de servicio y de seguridad última exigidos por las regulaciones modernas.

2.2.5.2 Criterios para la selección de técnicas de reforzamiento

En la ingeniería de la restauración y la conservación de infraestructuras, la selección de la técnica de reforzamiento óptima debe fundamentarse en un balance riguroso entre la compatibilidad de los materiales, la viabilidad técnica y la mínima alteración funcional del inmueble, (Silva Cascante & Uría Cevallos, 2025) sostienen que cualquier intervención debe responder a una evaluación previa del comportamiento y desempeño del sistema, priorizando soluciones que no transfieran esfuerzos desequilibrados a otros componentes vulnerables del edificio base. La literatura técnica subraya que el éxito en la mejora de estructuras yace en una modelación analítica exacta que represente de manera efectiva la transferencia de cargas ya sean tanto estáticas como dinámicas, entre la Sub estructura actual y los nuevos componentes de refuerzo.

Dentro de las estrategias para intervenir en elementos de hormigón armado, se toma en cuenta tanto técnicas tradicionales como innovadoras que se ajustan a los tipos de daños presentados. (YANKO, 2017) destaca que métodos consolidados como el encamisado de hormigón armado o el uso de perfiles mecánicos y platinas de acero permiten incrementar sustancialmente la sección transversal y el confinamiento de pilares fatigados. Por otra parte, las tendencias contemporáneas apuntan hacia la utilización de materiales compuestos de polímeros reforzados con fibras de carbono, los cuales minimizan el aumento de masa propia y optimizan la resistencia a la tracción del elemento intervenido, consolidándose como una alternativa eco-eficiente y de rápida ejecución en proyectos de rehabilitación estructural (Silva Cascante & Uría Cevallos, 2025).

2.2.6 Demolición Selectiva

Residuos de construcción y demolición (RCD) es el vocablo utilizado para describir los escombros generados por todo tipo de proyectos de obra y demolición, como los materiales de construcción y demolición se producen en obras que van a partir la construcción de viviendas

particulares hasta la deconstrucción de aeropuertos internacionales, representan una enorme fuente de residuos (Ross Guberman, 2022). Autores como Muñoz et al. (2021) nos indica que uno de los principales generadores de impactos negativos que forman las construcciones son los Residuos de Construcción y Demolición, estos son movidos en lugares no autorizados, como son ríos, terrenos abandonados, etc., solo raras veces son arrojados en botaderos autorizados.

2.2.6.1 Reciclaje de residuos de construcción y demolición

El proceso de desmantelamiento para la recuperación de RCD implica una organización previa, el desmontaje selectivo (demolición) para separar materiales valiosos (metales, madera, hormigón) y su reciclaje o reutilización, y por último la demolición controlada de lo restante, priorizando la seguridad, la minimización de impactos como el polvo y el ruido, este sería una forma para que el cumplimiento normativo sea una gestión circular eficiente (Muñoz et al., 2021).

Sabemos que reciclar los residuos de construcción y demolición tiene sus ventajas, no hacerlo crea problemas en sentido contrario, la extracción, fabricación y por siguiente la eliminación de hormigón y otros productos a base de cemento de Portland es un claro ejemplo de ello, puesto que algunas cifras sugieren que, después del agua, es la sustancia más utilizada en el planeta (Ross Guberman, 2022).



Ilustración 4. Residuos de construcción y demolición

Obtenido de: <https://www.ambientebogota.gov.co/residuos-de-construccion-y-demolicion>

2.2.7 Ciclo de Vida de una Edificación

El ciclo vital de un edificio se refiere a un procedimiento que permite examinar todos los aspectos ambientales, estructurales, de producción, de transporte, entre otros, estas variables están vinculadas a la duración de la construcción y su efecto en el entorno. (Gambau, 2021). Este procedimiento se denomina análisis del ciclo de vida (ACV) y se fundamenta en cuatro elementos relacionados con las construcciones: eficiencia, energía, recursos materiales y gestión de residuos, el ACV es, además, una herramienta potente para la evaluación sostenible de las construcciones actuales. Asimismo, sirve como cimiento para la mayoría de las certificaciones que buscan disminuir el impacto ambiental de los métodos de construcción modernos.

Las acciones y mecanismos que actúan sobre una estructura deben considerarse desde su diseño debido a que pueden afectar tanto la resistencia de los materiales, su durabilidad y el tiempo de servicio. Dichas acciones pueden ser de origen externo o interno en una estructura y pueden originar fenómenos físicos, químicos, biológicos o mecánicos ocasionando limitaciones en el comportamiento del proyecto (Ipiates Aguirre, 2015).



Ilustración 5. Ciclo de vida de la Edificación

Obtenido de: <https://blog.deltoroantunez.com/2024/02/calculo-ciclo-vida-construccion.html>

- ***Acciones externas físicas***

Las acciones externas son consecuencia del uso de una estructura y a su vez está relacionado con las cargas equivalentes que actúan durante su existencia. Con la aparición de estas acciones a través del tiempo se pueden clasificar las cargas como, estáticas que son aquellas que no afectan al comportamiento de una estructura debido a su variación lenta y las cargas dinámicas que dependiendo la variación puede afectar el comportamiento de una estructura (Ipiates Aguirre, 2015).

- ***Acciones externas ambientales***

Las acciones externas ambientales están relacionadas con el entorno y su relación con el medio circundante, estas acciones pueden ser equivalentes a una carga estática como a una carga dinámica, ejemplo, el viento. Las acciones ambientales se pueden producir por efectos físicos como temperatura, humedad; químicos como corrosión, fuego; y biológicos como aguas contaminadas, microorganismos, etc. (Ipiates Aguirre, 2015).

2.2.8 Vida Útil de las Estructuras

La Vida Útil de las Estructuras comprende el periodo de tiempo, desde la etapa en la que finaliza su ejecución, durante la que debe mantenerse sus requisitos mínimos arquitectónicos, funcionales, estructurales, durabilidad, seguridad y de comportamiento (Moreno, 2020). Yugovich (2010) nos dice que se entiende por vida útil el periodo de tiempo durante una estructura es capaz de desempeñar las funciones para las cuales fue proyectada, sin necesidad de intervenciones no previstas.

2.2.8.1 Que afecta a la vida útil de una edificación

La vida útil de un inmueble es el ciclo durante el cual una edificación puede ser utilizada de manera funcional y segura anteriormente de requerir una renovación o ser demolida, para el uso al que se destina Arcila & Helene (2004).

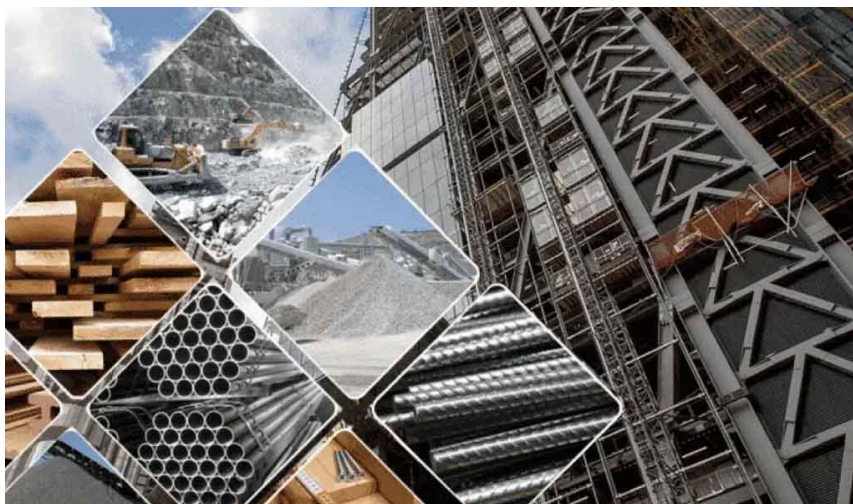


Ilustración 6 . Materiales de construcción: la base técnica de toda obra eficiente

Obtenido de: <https://construproductos.com/noticia/materiales-de-construccion-la-base-tecnica-de-toda-obra-eficiente-yOjIO>

Según el primer capítulo de la ISO 15686 (2000) la vida útil de una estructura se define como el tiempo desde que se edifica hasta que alguna de sus partes deje de cumplir su funcionalidad para la que fue principalmente diseñada. Las normas técnicas y complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto del reglamento de construcciones del distrito federal hace referencia al cumplimiento de la seguridad de la población y la protección del medio ambiente, Por consiguiente las normativas actuales tienen como punto que las construcciones sean adecuadas para su uso a lo largo de su vida útil, por ello, Muñoz & Mendoza (2012) nos dice que las edificaciones deberán desempeñar con los siguientes requerimientos:

- Las edificaciones deberán ofrecer funcionalidad y seguridad mediante su ejecución y vida útil, aguantando las acciones físicas, mecánicas y químicas a las que estarán expuestas

- También deberán disminuir el riesgo que induzcan los efectos del fuego y los daños que ocasione a los residentes de las estructuras; así como guardar su capacidad de resistencia estructural
- Las estructuras deberán mitigar los riesgos que provoquen consecuencias negativas sobre el medio ambiente causadas principalmente durante la ejecución de la obra y su tiempo de vida.

2.2.9 Diseño estructural

El diseño estructural comprende toda una gama de estudios que determinan si el proyecto es viable de acuerdo con las características de uso. El diseño estructural no solo define las cargas propias de la edificación, sino que también incluye el análisis de cargas exteriores como las sísmicas, es por eso, que el denominado diseño estructural ahora adopta el nombre de Diseño Estructural Sismorresistente. Este tipo de diseño garantiza que la estructura se comporte de manera adecuada durante un movimiento sísmico, ya que estos fenómenos generan deformaciones en los elementos que son propios de los materiales que, al estar comprometidos a una fuerza, si no se diseñan de acuerdo a las características de la zona pueden presentar fallas catastróficas o colapsos durante sismos de gran magnitud (Echeverry Patiño, 2017).

2.2.9.1 Patologías del hormigón

Tanto el hormigón como el hormigón armado se encuentran entre los primeros elementos constructivos de las últimas décadas, no obstante, dependiendo del entorno, el uso, y si está reforzado con barras de hierro, este buen material tiende a sufrir unas patologías u otras, como, por ejemplo:

- Fisuras
- Carbonatación
- Aluminosis

- Segregación y exudación
- Desgaste por abrasión

Por ello es de suma importancia conocer su origen, efectos y tratar de prevenirlas lo antes posible, puesto que la lesión puede comprometer la seguridad de la estructura (BECOSAN, 2022).



Ilustración 7 . Grietas estructurales internas ¿cómo detectarlas?

Obtenido de: <https://www.uretek.es/blog/grietas-estructurales>

2.2.10 Vida Útil Residual o Remanente

Se piensa en vida útil residual desde el instante en que se realiza una inspección o diagnóstico de la estructura, hasta la instancia donde la edificación logra cumplir con las funciones requeridas, de este modo, mediante la evaluación que se realiza en una estructura, se conseguirá determinar el periodo de tiempo que le resta a la edificación (Inmuebles24, 2022).

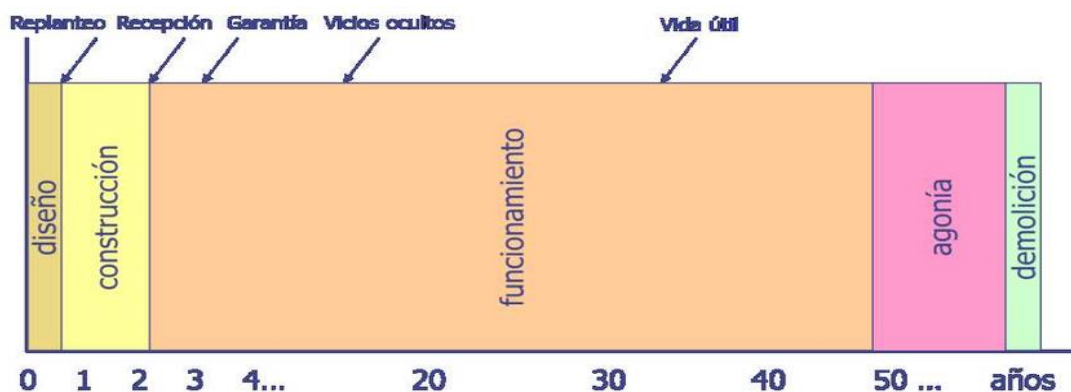


Ilustración 8 . Etapas de la vida útil de un edificio.

Obtenido de: https://www.researchgate.net/figure/Figura-11-Etapas-de-la-vida-util-de-un-edificio_fig1_277258343

2.2.10.1 ¿Qué es la durabilidad en una estructura?

La durabilidad es conocida como el conjunto de componentes los cuales se conforman de una vida de servicio independiente, se debe a que las estructuras están formadas de elementos permanentes, esto se debe tener en cuenta al inicio de la durabilidad desde la fase de planificación y diseño de los elementos que componen a la estructura y que permiten prolongar de mejor manera la vida útil (Hernández, 2016).

La durabilidad de una estructura de hormigón armado es conocida por su capacidad para soportar la vida útil para la cual ha sido proyectada, y a las condiciones tanto físicas como químicas a las que haya sido expuesta, las cuales podrían provocar su degradación como consecuencia de las diferentes cargas. Moreno, 2020) define la durabilidad como, la habilidad del hormigón para poder resistir la acción del medio ambiente, ataques químicos o cualquier tipo de deterioro, además, la durabilidad es un aspecto tan fundamental como la resistencia en una estructura.

2.2.10.2 Proceso constructivo, mantenimiento y rendimiento de los materiales

El proceso de construcción y ejecución consta de gran escala, ya que permite conocer el rendimiento y durabilidad del diseño de la edificación, así mismo, la mano de obra calificada, supervisión e inspección empleada en la construcción son unos de los factores clave que

permiten ampliar la durabilidad de la vida útil, por ello en la fase de mantenimiento, el empleo de mantenimientos y reparaciones permitirán ampliar de una manera clara el tiempo de vida útil y mitigar el deterioro de la estructura (Hernández, 2016)

El rendimiento se considera la capacidad del material para cumplir con sus funciones dentro del sistema de la edificación, este mismo se puede medir cualitativa y cuantitativamente, dependiendo del diseño requerido; así como también las condiciones de uso, mantenimiento y operación de la estructura. Asimismo, el rendimiento de las edificaciones dependerá de los factores de uso del material de forma directa, de manera integrada al edificio como parte de un sistema completo (Sánchez et al., 2022).

2.2.11 ISO 14040: Análisis del ciclo de vida

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de un producto está ajustado por la norma ISO 14040, que es una metodología de evaluación ambiental, consiste en analizar y cuantificar impactos ambientales de un producto o servicio a lo largo de ser útil. El Análisis de ciclo de vida contribuye a identificar oportunidades de mejora en el desempeño medioambiental del producto en la fase de diseño y desarrollo, a establecer prioridades en la planificación estratégica, técnicas de medición, estrategias ecológicas, declaraciones ambientales, entre otros. El Análisis del Ciclo de Vida es una herramienta fundamental en la transición hacia un modelo de economía circular ya que aporta información importante sobre los impactos ambientales (Eurofins, 2024)



Ilustración 9. Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marcos de referencia.

Obtenido de: <https://ipyc.es/certificacion-medioambiente/iso-14040-14044-analisis-ciclo-vida/>

2.2.11.1 Análisis de ciclo de vida en la evaluación ambiental

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta para examinar los efectos sobre el medio ambiente a lo largo de la vida completa de un producto, proceso o actividad. Esta se destaca por tomar en cuenta todo el recorrido ya sea del producto o actividad analizada, desde su inicio hasta que se convierte en desecho. Sin lugar a duda, el estudio del ciclo de vida de un producto facilita la detección de los impactos ambientales más significativos, este mismo considera cada fase de su ciclo de vida, comienza en su arranque, que contiene la recolección y tratamiento de materias primas, incluyendo la producción, el transporte y la distribución, hasta incluir el uso, el mantenimiento, la reutilización, el reciclaje y la eliminación en vertederos al final de su periodo útil, al identificar los impactos principales a través de su ciclo de vida, suministra un marco para analizar opciones en procesos productivos y aplicar criterios ambientales en las estrategias (Eurofins, 2025).



Ilustración 10 . Analisis del ciclo de vida: Qué es, como calcularlo y sus beneficios para las empresas

Obtenido de: <https://ecoed.cl/wp-content/uploads/2021/01/Ciclo-de-vida-684x533.png>

2.2.11.2 Definición de Objetivos y Alcance del ACV

El primer paso en el desarrollo de un Análisis de Ciclo de Vida es la definición de los objetivos del estudio, se debe detallar las razones que impulsaron el trabajo y la información que se espera obtener como resultado. Debido a la naturaleza global de esta metodología, un ACV podría ser eterno y debe establecerse límites a su extensión (Cambra, 2023).

2.2.11.3 Análisis de Inventario

Por otro lado, el análisis de inventario es un balance de materia y energía, aunque puede contener otros parámetros, tales como los siguientes: utilización del suelo, ruido, radiaciones, vibraciones, biodiversidad afectada, etc. Comprende la compilación de los datos y la realización de los cálculos adecuados para cuantificar las entradas y salidas del sistema a estudiar:

Entradas: son las materias primas y las fuentes de energía

Salidas: son las emisiones al aire, suelo, agua y los productos

2.2.11.4 Análisis de los impactos

Es un proceso cuantitativo y/o cualitativo mediante el que se caracterizan y valoran los efectos de las intervenciones medioambientales identificadas, además pueden incluir juicios y aspectos sobre beneficios medioambientales relativos, así como una| comparativa de los inconvenientes de los diferentes sistemas (Gambau, 2021).

2.2.11.5 Interpretación

La última etapa de un Análisis de Ciclo de Vida y la menos desarrollada, es la de evaluación de mejoras, donde se identifican y evalúan las opciones para que de una u otra manera reducir el impacto o las cargas ambientales del sistema en estudio.



Ilustración 11. Fases del análisis de ciclo de vida de un producto

Obtenido de: <https://www.eurofins-environment.es/es/fases-ciclo-vida-producto/>

2.2.12 ISO 15686: Método de Cofactores

La norma ISO 15686, que se encuentra en proceso de desarrollo, se centra en la gestión del ciclo de vida, este es un enfoque decisional que se ocupa de planificar la durabilidad de un elemento de construcción, un edificio o cualquier otra estructura, como un puente o un túnel. Su principal objetivo es asegurar que la durabilidad diseñada cuente con un enfoque sistemático para definir su vida útil, generalmente a partir de una referencia o proyección de la duración esperada. Además, se procura un análisis del ciclo de costo (o costo total del ciclo de vida si es necesario), considerando cuestiones ambientales como el análisis del ciclo de vida, el mantenimiento a lo largo de la vida útil, así como aspectos al final de su competencia, incluyendo la obsolescencia y la recuperación de la energía incorporada. La gestión de la durabilidad está cada vez más relacionada con el desarrollo sostenible y el valor global del ciclo de vida. (ISO ORG, 2011)

2.2.12.1 Planificación de la durabilidad

(Brito & Atalaya, 2023) menciona que el propósito de la planificación de la durabilidad es asegurar de manera razonable que la duración prevista de un nuevo edificio en un lugar

determinado, con el mantenimiento adecuado, sea al menos igual a la que se establece en el proyecto, esta estrategia facilita decisiones informadas sobre ingeniería de valor, presupuestos, planificación del mantenimiento y el impacto ambiental. Dado que no es posible calcular la durabilidad de manera exacta, se necesita hacer una estimación confiable de la duración del edificio, utilizando el conocimiento existente sobre la vida útil de cada material, componente, conjunto y sistema a utilizar.

Si la vida útil proyectada de alguno de estos componentes es menor a la duración esperada del edificio, se debe determinar si el mantenimiento, reparación o reemplazo asegurarían el correcto desempeño de sus funciones vitales. Para facilitar la especificación y el diseño, así como prevenir la obsolescencia y el despilfarro, la planificación de la durabilidad puede incluir previsiones sobre las necesidades y los plazos de reemplazo y recuperación al concluir su vida útil. (ISO ORG, 2011)

2.2.12.2 Cálculo del coste de ciclo de vida de las edificaciones

La norma 15686 sobre la planificación de la durabilidad está siendo creada por el Comité Técnico ISO/TC 59, Edificación - Subcomité SC 14, Durabilidad de diseño. (ISO ORG, 2011). En el Reino Unido, se está adoptando la nueva norma británica BS ISO 15686-5:2008, que se centra en edificios y activos construidos, así como en la planificación de su vida útil, esta normativa sobre el cálculo del coste del ciclo de vida, junto con un método estandarizado adicional para los gastos del ciclo de vida en la construcción, proporciona una orientación completa sobre cómo llevar a cabo este cálculo, un aspecto cada vez más relevante. (Brito & Atalaya, 2023) señala que “el sector de la construcción en el Reino Unido reconoce la necesidad y la relevancia del cálculo del coste del ciclo de vida (LCC), pero hay cierta incertidumbre acerca del método más eficaz para alcanzar los beneficios económicos y ambientales que este cálculo puede ofrecer”.

2.2.13 Propósito y Alcance de la Norma ISO 15686

La ISO (Organización Internacional de Normalización) es el Organismo mundial de normalización de los que varios países son miembros, esta norma desempeña una función esencial en la organización de la duración operativa de edificaciones, ya sean recientes o históricas. Para las infraestructuras ya existentes, el análisis de su vida útil se concentrará primero en la estimación del tiempo útil que les queda a estos elementos en uso, así como la elección de los materiales y en la planificación de la rehabilitaciones y nuevas construcciones, esta norma define directrices generales para administrar la duración de una obra durante todo su ciclo vital. El ciclo de vida abarca el inicio, la definición del proyecto, diseño, construcción, ejecución, mantenimiento, la renovación, eliminación de desechos, reciclaje o reutilización del bien inmueble (ISO ORG, 2011)

2.2.13.1 Cofactores de la Metodología ISO 15686

Para estimar el comportamiento temporal y el deterioro progresivo de las estructuras de hormigón armado, la normativa internacional establece criterios cuantitativos basados en las condiciones intrínsecas del proyecto y las solicitudes de su entorno, el estándar ISO 15686 define el denominado Método de los Cofactores, el cual constituye un procedimiento sistemático para ajustar la vida útil de referencia de un componente a partir de las especificidades de la obra (ISO ORG, 2011). Esta metodología opera mediante la asignación y multiplicación de siete cofactores normalizados que abarcan desde las propiedades de los materiales hasta las políticas de gestión y conservación institucional.

Tabla 1. Cofactores para análisis del ciclo de vida de una edificación patrimonio

Cofactor	Principales aspectos a analizar
Nivel de diseño	Calidad a nivel de diseños del proyecto
Calidad de los componentes	Cumplimiento de normas técnicas en todos materiales utilizados, otros componentes que deben cubrir las necesidades funcionales y ambientales
Nivel de calidad de la ejecución de las obras	Procesos constructivos en base a las normas vigentes, y según requerimientos de la técnica utilizada para su construcción
Condiciones interiores	Cambios de temperatura, ventilación, iluminación, capilaridad, filtraciones, fallas por diseño, presencia de insectos, y otros factores que puedan generar deterioro en los materiales
Condiciones de exposición exteriores	Viento, lluvia ácida, radiación, esfuerzos mecánicos por presencia de plantas, contaminación ambiental, asentamientos por construcciones vecinas, u otros que puedan generar de manera directa o indirecta en el deterioro de los componentes constructivos de la edificación
Condiciones de uso	Cambio excesivo en las cargas vivas esperadas, adición de carga muerta, eliminación de vanos de ventilación, eliminación de elementos de soporte estructural, modificación de sistemas sin el recalcule respectivo.
Nivel de mantenimiento	Inspecciones visuales y técnicas según un plan de mantenimiento programado, que orienten las labores de limpieza trabajos de reposición, primeros auxilios y conservación en general

Elaborado por Roberth López (2026)

Nota: Adaptado de Norma ISO 15686 International Standards Organization (2011)

A continuación, se desglosa el fundamento conceptual y el impacto teórico de cada una de estas variables sobre los mecanismos de degradación física, química y mecánica que condicionan la durabilidad del hormigón.

2.2.13.2 Factor A: Nivel de Diseño

Este cofactor evalúa la rigurosidad, la precisión técnica y la idoneidad geométrica con la que fue proyectada la edificación en sus planos ejecutivos. sirve para cuantificar el nivel de protección estructural y arquitectónica frente a la exposición ambiental. Al respecto, (Sánchez et al., 2022) sostienen que aspectos de diseño como la especificación geométrica de recubrimientos mínimos de hormigón y la inclusión de pendientes de evacuación pluvial resultan críticos; un diseño deficiente desprotege las armaduras de acero, catalizando el proceso de des pasivación y subsiguiente corrosión galvánica.

2.2.13.3 Factor B: Calidad de los Componentes

El cofactor B define las propiedades mecánicas y físico-químicas intrínsecas de los materiales que constituyen la estructura antes de su puesta en obra, su función en la estimación de la durabilidad sirve para establecer el grado de resistencia pasiva del hormigón frente al avance de frentes patológicos degradantes. De acuerdo con de (Brito & Atalaya, 2023), las características iniciales de la mezcla, tales como una adecuada resistencia a la compresión, una baja relación agua/cemento y una porosidad controlada, son determinantes para mitigar la velocidad de difusión de agentes agresivos externos como el dióxido de carbono y cloruro.

2.2.13.4 Factor C: Condiciones de Entorno Interno

Este factor clasifica las variables micro climáticas estables e higrotérmicas que se manifiestan en el interior de los espacios operativos de la edificación durante su vida de servicio, sirve para diagnosticar la vulnerabilidad interna frente a patologías por humedad y exposición química localizada. Como señala (Moreno, 2020), ambientes interiores desprovistos de ventilación adecuada o propensos a filtraciones continuas en redes hidrosanitarias sostienen niveles elevados de humedad relativa, lo cual provee el medio electrolítico indispensable para acelerar la corrosión del acero de refuerzo embebido.

2.2.13.5 Factor D: Condiciones de Entorno Externo

El cofactor D evalúa las solicitaciones macro meteorológicas, la agresividad climática y los agentes contaminantes atmosféricos del emplazamiento geográfico donde se asienta la estructura. En ingeniería de la durabilidad, sirve para dosificar la severidad del ataque externo de origen natural o industrial. (De & Construcción, 2014) destacan que, en regiones costeras o subtropicales, la combinación recurrente de una alta humedad, ciclos de humedecimiento-secado, temperaturas elevadas y la acción de la niebla salina aceleran drásticamente el frente de carbonatación y la penetración crítica de cloruros en estructuras expuestas.

2.2.13.6 Factor E: Trabajo de Ejecución

El cofactor E representa el estándar cualitativo y el control técnico imperante durante la fase de construcción real del inmueble, su utilidad radica en identificar y ponderar los defectos estructurales congénitos o heredados durante el proceso de obra. (Li et al., 2025)según afirman, la praxis constructiva inadecuada, caracterizada por un vibrado deficiente que induce coqueras, un curado hidráulico incompleto o la adición informal de agua en el hormigón fresco, altera irreversiblemente la red interconectada de poros capilares, castigando la vida útil prevista del elemento.

2.2.13.7 Factor F: Condiciones de Uso

Este parámetro cuantifica el régimen de operación, la naturaleza de las cargas vivas y las solicitaciones mecánicas cíclicas impuestas por los ocupantes y la actividad del inmueble, su propósito es medir la fatiga mecánica acumulada y el desgaste funcional de los elementos de soporte. Según la conceptualización de (ISO ORG, 2011), las edificaciones de carácter institucional o educativo experimentan cargas de uso dinámicas y tasas de ocupación masivas que, sumadas a eventuales sobrecargas por modificaciones estructurales no planificadas, aceleran la micro fisuración del hormigón, reduciendo su desempeño residual.

2.2.13.8 Factor G: Nivel de Mantenimiento

El cofactor G examina la frecuencia, la calidad y el enfoque estratégico (preventivo, predictivo o reactivo) de las políticas de conservación ejecutadas en la infraestructura a lo largo del tiempo, sirve como la barrera de protección temporal que ralentiza la interacción destructiva de los demás factores ambientales. Al respecto, (García-Erviti et al., 2015) argumenta que la ausencia de planes de mantenimiento institucionalizado y la omisión de tratamientos superficiales protectores (como pinturas acrílicas o sellado de fisuras) incrementan exponencialmente la permeabilidad de la estructura, dejándola vulnerable ante la degradación prematura.

2.3 Marco Normativo

Un marco normativo es el conjunto organizado de leyes, ya sean reglamentos, decretos y principios que llegan a establecer las reglas y guían el comportamiento, la operación y el funcionamiento de una entidad, sector o sociedad, de esta manera llega a asegurar un orden y consistencia, y definiendo los límites y las responsabilidades dentro de un contexto específico, tales como una empresa, un gobierno o un proyecto.

2.3.1 Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15):

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015 se centra en dar solución a la gran demanda que genera en la actualidad la sociedad en cuanto a la mejora de la calidad y la seguridad de las edificaciones buscando de esta manera proteger al ciudadano y también fomentar el desarrollo urbano sostenible de una manera equitativa. Arevalo & Quizhpi (2017) nos dice que la NEC-2015 es una actualización del COE_2001 (Código Ecuatoriano de la Construcción) el cual tiene como objetivo mejorar las normativas de construcción de acuerdo a los progresos tecnológicos con el fin de mejorar los mecanismos de control en los procesos constructivos y poder evitar tragedias, por otro lado busca: definir los principios mínimos de diseño y montaje en obra, avalar la habitabilidad de la edificación, establecer responsabilidades,

obligaciones y derechos de los individuos involucrados en el proceso constructivo de la edificación. La normativa se fracciona en: vidrio, estructuras de acero, cargas sísmicas, peligros sísmicos, geotecnia, estructuras de hormigón armado, estructuras de madera, mampostería estructural, riesgos sísmicos evaluación y rehabilitación de estructuras (MIDUVI, 2014)



Ilustración 12 . Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Obtenido de: <https://www.planarquitecto.com/norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

2.3.1.1 Vulnerabilidad sísmica según la Norma Ecuatoriana de Construcción

La Vulnerabilidad Sísmica es la propensión de una edificación a sufrir daños o colapsar ante un sismo, determinada por sus características físicas y estructurales tales como geometría, materiales y diseño, siendo crucial para evaluar el riesgo y diseñar construcciones más seguras, con el fin de que sean capaces de soportar movimientos moderados sin colapsar y protegiendo así la vida humana. Cárdenas & Ruilova (2022) nos dice que la vulnerabilidad sísmica es un parámetro que cuantifica la capacidad resistente de una estructura, por lo tanto, forma una propiedad intrínseca de cada edificación, considerando su nivel de fragilidad comportamiento propio frente a eventos sísmicos de diversas magnitudes.

Para Constante Castro (2024) la vulnerabilidad sísmica es el grado en el umbral de daño que puede presentar un elemento debido al efecto de un fenómeno natural de cualquier magnitud, donde una escala de 0 no representa daños y donde a partir de 1 u otra escala proporcional pueden presentar pérdidas parciales o totales. Por otro lado, el riesgo sísmico es

la afectación de daño que puede sufrir una estructura durante un evento sísmico, por ello, la vulnerabilidad sísmica es importante en cuanto a la gestión de riesgo, dado que permite valorar cada uno de los daños que se puedan presentar por un sismo.

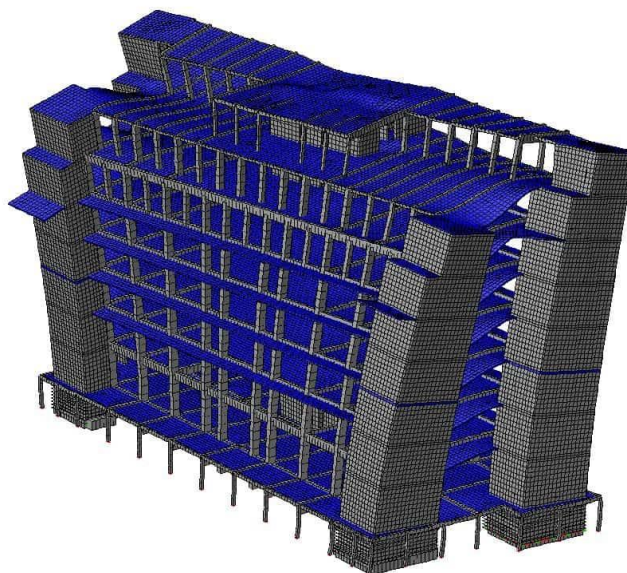


Ilustración 13 Análisis de vulnerabilidad sísmica

Obtenido de: <https://www.gestructurales.com/servicios/analisis-de-vulnerabilidad-sismica>

De acuerdo con Arteaga (2016) la vulnerabilidad se clasifica en dos tipos, la primera compone la vulnerabilidad sísmica por origen, en la cual se encuentra específica en cada edificación y resulta del diseño y construcción incompleta desde su planificación, son aquellas estructuras que fueron creadas de forma inadecuada sin los debidos criterios sismorresistentes, estas construcciones podrían ser modificadas mediante rehabilitación estructural.

Mientras que, la segunda hace referencia a la vulnerabilidad sísmica progresiva, la cual se observa y acrecienta con el pasar de los años, estas pueden ser la pérdida de propiedades físicas mecánicas de los materiales con los cuales fueron edificadas las edificaciones, los fenómenos climáticos y naturales son los detonantes de esta vulnerabilidad, no obstante, se

podría contrarrestar esta condición mediante el mantenimiento preventivo o rutinario de las mismas.

2.3.2 Normativas Internacionales (ISO)

Las Normativas Internacionales (ISO) son estándares o guías establecidas por la Organización Internacional de Normalización para establecer criterios comunes de calidad, seguridad, eficiencia y sostenibilidad en productos, servicios y sistemas a nivel global, originando la homogeneidad, la confianza y la mejora continua en todos los sectores, estas normas también funcionan como un lenguaje universal para las empresas, asegurando que cumplan con las mejores prácticas reconocidas internacionalmente, como la ISO 9001 (calidad) o la ISO 14001 (medio ambiente), siendo voluntarias pero muy beneficiosas para la competitividad y la satisfacción del cliente (Online Browsing Platform (OBP), 2006).

2.3.2.1 ISO 14040 / 14044

Las normas ISO 14040 e ISO 14044 se centra en las bases para realizar un ACV integral, concretan un enfoque sistemático para evaluar los impactos ambientales, las normas priorizan la transparencia, la coherencia y una comprensión exhaustiva de las etapas del ciclo de vida, respondiendo así la precisión y fiabilidad de cada evaluación (Gambau, 2021).

La aplicación de estas normas ofrece un sinnúmero de ventajas a las organizaciones que buscan mejorar su desempeño ambiental y sus prácticas de sostenibilidad, algunos de los principales beneficios incluyen:

- **Rendimiento ambiental mejorado:** Proporcionar conocimientos que conduzcan a una mejor gestión de los recursos y a un menor impacto ambiental.
- **Toma de decisiones informada:** Permitir a las organizaciones tomar decisiones basadas en datos que se alineen con sus objetivos ambientales.

- **Comunicación mejorada:** Facilitar una comunicación clara del desempeño ambiental tanto interna como externa.
- **La reducción de riesgos:** Minimizar los riesgos ambientales mediante una evaluación sistemática de todo el ciclo de vida.

Las normas ISO 14040 e ISO 14044 son herramientas fundamentales para comprender y mitigar el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de un producto, al adoptar un enfoque sistemático de ACV, las organizaciones pueden lograr una visión más clara, lo que ayuda a facilitar la toma de decisiones y en última instancia, contribuir a un futuro más sostenible (Online Browsing Platform (OBP), 2006).



Ilustración 14 Norma ISO 14044

Obtenido de: <https://ipyc.es/certificacion-medioambiente/iso-14040-14044-analisis-ciclo-vida/>

2.3.2.2 Norma ISO 15686

La norma ISO 15686 (2000) examina los principios generales para el planeamiento del tiempo de vida útil de las edificaciones, esta norma es aplicada ya sea tanto para estructuras nuevas como también para existentes que requieran de rehabilitación, esta norma aplica un método concreto para poder predecir la vida útil el cual se designa como el método de los

factores. La Organización Internacional de Normalización (2000) nos menciona que esta norma está compuesta por una serie de capítulos mencionados a continuación:

- ISO 15686- Cap.1: Nos habla sobre los lineamientos generales y marco de referencia.
- ISO 15686- Cap.2: En este se dan los procedimientos de predicción de vida útil.
- ISO 15686- Cap.3: Se recalca la auditoría de presentación y revisión.
- ISO 15686- Cap.4: En este capítulo se refiere al planeamiento de vida útil utilizando modelado de información de construcción basada en IFC.
- ISO 15686- Cap.5: Se define los costos de ciclo de vida.
- ISO 15686- Cap.6: Nos indica cuándo evaluar el rendimiento funcional.
- ISO 15686- Cap.7: Se da la evaluación de rendimiento para la retroalimentación de los datos de vida útil de la práctica.
- ISO 15686- Cap.8: Inicia la parte de la vida de servicio de referencia y estimación de vida útil.
- ISO 15686- Cap.9: Reitera la orientación sobre la evaluación de datos de vida útil.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

La investigación tendrá un enfoque cuantitativo ya que se utilizará información técnica y parámetros medibles para estimar la vida útil remante de una edificación de hormigón armado mediante la metodología ISO 15686. El estudio será de tipo aplicado, debido a que busca resolver un problema enfocado en la gestión de la infraestructura universitaria y a la toma de decisiones sobre la intervención del Bloque FIIA D08 de la Universidad Lacia Eloy Alfaro de Manabí.

Es de carácter descriptiva y evaluativa, dado que permitirá determinar las condiciones actuales de la edificación y evaluar la viabilidad técnica de una reforma o demolición, el diseño investigativo será no experimental y transversal, ya que las variables serán analizadas a partir de información previa documentada directamente por parte del investigador, la validez y calibración del modelo predictivo basado en la norma ISO 15686 se respaldará mediante una discusión comparativa y triangulación de resultados con el estudio de vulnerabilidad estructural preexistente del bloque desarrollado por (Zambonino, 2025)

3.1 Determinación de Variables

Para el desarrollo de la presente investigación se definen las siguientes variables:

3.1.1 *Variable Independiente*

Definición: Evaluación del Ciclo de Vida del edificio mediante la metodología y factores de degradación de la norma ISO 15686.

Descripción: Comprende el análisis cuantitativo de los cofactores de diseño (A), calidad de materiales (B), ambiente interior (C), ambiente exterior (D), condiciones de uso (E), nivel de mantenimiento (F) y condiciones de operación (G).

3.1.2 Variable Dependiente.

Definición: Viabilidad técnica y estructural de la ampliación o demolición de la edificación.

Descripción: Corresponde al resultado numérico de la Vida Útil Estimada (VUE) y Vida Útil Residual del Bloque FIIA D08, el cual determina el diagnóstico final sobre si la estructura admite una ampliación vertical o si requiere demolición definitiva.

3.2 Revisión documental y recopilación de información técnica

La primera fase de la investigación estará orientada al cumplimiento del primer objetivo específico, relacionado con el análisis de las condiciones estructurales, ambientales y funcionales que influyen en la durabilidad de edificaciones institucionales de hormigón armado. Para ello, se desarrollará un proceso de revisión documental y recopilación de información técnica previamente existente respecto al bloque FIIA D08 de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, utilizado como caso de estudio.

Dado que la investigación tiene un enfoque basado en documentos y no experimental, no se llevarán a cabo pruebas directas, revisiones estructurales ni estudios de campo realizados por el autor. En su lugar, se utilizará información secundaria adquirida de investigaciones técnicas previas sobre la infraestructura en cuestión, este enfoque permitirá utilizar datos que ya han sido validados a través de evaluaciones estructurales especializadas, mejorando el análisis y asegurando consistencias técnicas en la investigación.

La recopilación documental se desarrollará a través de la revisión sistemática de diferentes fuentes relacionadas con el estado actual de la edificación, entre los documentos a analizar se incluirán:

Tabla 2. Fuente de Información

Fuente documental	Información obtenida
Informes estructurales	Estado de la estructura
Estudios de patológicas	Evidencia de deterioro y fisuras
Ensayos no destructivos	Propiedades del hormigón
Planos estructurales	Configuración del sistema resistente
Investigaciones previas	Antecedentes técnicos de la edificación
Normativas técnicas	Parámetros para la evaluación estructural

Elaborado por Roberth López (2026)

La información obtenida permitirá identificar las características estructurales más relevantes del edificio, como su antigüedad, métodos de construcción, materiales empleados y condiciones generales del funcionamiento. Así mismo, se explorarán antecedentes relacionados con las patologías estructurales, deterioro superficial, exposición a los elementos ambientales y potenciales daños asociados al envejecimiento de la infraestructura.

Dentro de la documentación a considerar, se presentará especial atención a los resultados de ensayos no destructivos sobre el hormigón armado, dado que estos ofrecen datos cruciales sobre el comportamiento mecánico y el estado de conservación del concreto, la utilización de este tipo de información permitirá evaluar técnicamente la estructura sin necesidad de intervenir físicamente la edificación.

Adicional, se revisarán estudios relacionados con las condiciones ambientales de exposición de la infraestructura, considerando que el edificio se encuentra en la ciudad de Manta, zona caracterizada por tener un ambiente marino, elevada humedad relativa y presencia de agentes que pueden influir sobre la durabilidad del hormigón armado.

El proceso de revisión documental también incluirá la recopilación de información normativa y bibliográfica relacionada con vida útil estructural, durabilidad del hormigón

armado y evaluación de edificaciones existentes, entre las principales referencias consideradas se encuentra la ISO 15686, utilizada como base metodológica para la estimación de vida útil remanente de la estructura.

Posteriormente, toda la información recopilada será organizada y clasificada de acuerdo con las variables necesarias para la ejecución de la metodología ISO 15686, esta clasificación permitirá identificar las condiciones estructurales, ambientales y funcionales que serán utilizadas para la asignación de los cofactores del método a utilizar.

La revisión documental desarrollada en esta etapa consignará de la base técnica de la investigación, permitiendo disponer de información confiable y previamente validada para el análisis de durabilidad estructural y evaluación de viabilidad técnica de remodelación o demolición en edificaciones institucionales de hormigón armado.

3.3 Identificación de factores de vida útil

Una vez recopilada la información, se procede a identificarse los factores que influyen sobre la durabilidad de edificaciones institucionales de hormigón armado, es esta etapa se tendrá como finalidad analizar las condiciones estructurales, ambientales y funcionales que afectan el desempeño y envejecimiento progresivo de la estructura a lo largo del tiempo. Para ello, se evaluaron los siguientes aspectos:

Tabla 3. Factores de vida útil

Factor evaluado	Descripción
Condiciones estructurales	Sistema resistente y estado general
Materiales	Resistencia y comportamiento del hormigón armado
Ambiente exterior	Exposición marina y humedad
Ambiente interior	Condiciones internas de funcionamiento
Uso funcional	Intensidad de ocupación y servicio
Mantenimiento	Conservación e intervenciones previas

Elaborado por Roberth López (2026)

La identificación de estos factores permitirá establecer de mejor manera criterios técnicos para la posterior asignación de los cofactores según la metodología ISO 15686. De la misma manera, se consideró la influencia de la ubicación del edificio en la ciudad de Manta, caracterizada por presentar un ambiente marino con elevada humedad y presencia de agentes agresivos que pueden acelerar procesos de deterioro en estructuras de hormigón armado.

3.4 Parámetros de partida obtenidos mediante revisión documental para la aplicación de la norma ISO 15686

Para el desarrollo del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y la evaluación de las alternativas estructurales (Remodelar vs. Demoler), se adopta la información técnica histórica y experimental del Bloque FIIA D08 validada en el estudio de vulnerabilidad de (Zambonino, 2025) Los datos analizados e ingresados como variables son:

3.4.1 Datos de Caracterización General y Geometría del Bloque (Cofactor A y E)

- **Año de Construcción:** El bloque fue edificado en 1986 (por lo tanto, tiene 40 años de antigüedad a la fecha actual de 2026, un dato crucial para el análisis de envejecimiento en tu ACV).
- **Ubicación:** Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, a aprox. 150 metros del ingreso 3. Coordenadas: 528219.02 m E y 98947...
- **Sistema Estructural Original:** Estructura de una sola planta concebida bajo pórticos de hormigón armado.
- **Dimensiones de Elementos Originales:** Columnas con sección general de 0.35 x 0.35 m.

3.4.2 Antecedentes de los materiales de construcción (Cofactor B)

3.4.2.1 Datos mecánicos del hormigón (Ensayo de Esclerometría)

(Zambonino, 2025) procesó los ensayos de esclerómetro en el bloque y concluyó lo siguiente:

- **Resistencia Nominal de Diseño:** 210 kg/cm²
- **Resistencia Real Actual Detectada:**
 - *Columnas Exteriores:* Resistencia promedio de 19 MPa (194 kg/cm²).
 - *Columnas Interiores:* Resistencia promedio de 21 MPa (214 kg/cm²).

3.4.2.2 Datos del Acero de Refuerzo (Ensayo de Pachometría)

- **Armado de Columnas:** Varillas principales de diámetro 14 mm.
- **Estribos:** Diámetro de 10 mm con una separación aproximada de 15 cm.

3.4.2.3 Datos del Suelo y Cimentación (Ensayo SPT y Calicata)

Para evaluar el ciclo de vida y la viabilidad de cimentaciones si se remodela/amplía, se necesitarán estos datos del terreno de la ULEAM:

- **Tipo de Suelo (Categoría NEC):** Clasificado como Suelo Tipo D (suelo cohesivo con baja resistencia al corte) debido a la presencia predominante de arcillas de alta plasticidad (CH) y limos orgánicos. Alta susceptibilidad a amplificaciones sísmicas y asentamientos.
- **Cimentación Existente:** Zapatas aisladas con una profundidad de desplante hallada a 96 cm mediante calicata.
- **Dimensión de Zapatas Actuales:** Secciones de 1.25 x 1.25 m (Área aproximada de 1.44 m²).

3.4.3 Datos de Vulnerabilidad de Inspección Visual (Cofactor C, D, F y G)

A pesar de que cualitativamente el método FEMA P-154 clasifica inicialmente al bloque con "baja vulnerabilidad" por ser de un solo piso, el análisis cuantitativo por software (ETABS) demostró que no cumple con los límites de deriva de la NEC en la dirección Y, confirmando su vulnerabilidad sísmica real.

3.5 Ponderación de Cofactores de la metodología ISO 15686

La tercera etapa metodológica de la investigación está orientada al cumplimiento del segundo objetivo específico, la determinación de la vida útil remanente de edificaciones institucionales de hormigón armado mediante la aplicación de la metodología establecida en la ISO 15686.

La metodología ISO 15686 constituye una herramienta técnica utilizada para la planificación y estimación de vida útil de edificaciones y componentes constructivos, su aplicación permite evaluar el desempeño esperado de una estructura considerando las condiciones reales de diseño, materiales, ambiente, uso y mantenimiento que influyen sobre su durabilidad a lo largo del tiempo.

En esta investigación, se empleó un enfoque para determinar el tiempo útil restante del bloque FIIA D08 de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, esto actuó como un estudio de caso para corroborar un método técnico que es aplicable a edificaciones institucionales de concreto reforzado, la adopción de esta norma permitirá establecer un criterio técnico que valore si una estructura en particular está en condiciones óptimas para su rehabilitación o a su vez es más conveniente proceder a su demolición.

Los factores primordiales que la metodología toma en cuenta incluyen:

- Condiciones del ambiente
- Calidad del diseño estructural

- Propiedades de los materiales
- Nivel de uso
- Calidad en la ejecución y en la construcción
- Grado de mantenimiento

Con base a estos criterios, la metodología sugiere la modificación de una vida útil de referencia mediante factores multiplicadores que reflejan las condiciones reales observadas en la infraestructura de estudio. Como punto inicial para la aplicación de la metodología, se establecerá una vida útil de referencia o *Reference Service Life* (RSL).

La selección de este valor se realizará considerando referencias técnicas y criterios habitualmente utilizados para estructuras institucionales de hormigón armado, la vida útil de referencia representa el tiempo estimado de funcionamiento de la estructura bajo condiciones normales de diseño, construcción, operación y mantenimiento, este valor constituye la base sobre la cual se aplican posteriormente los factores modificadores establecidos por la metodología ISO 15686.

El método empleado en esta investigación es conocido como el método de cofactores, qué se basa en ajustar la vida útil de referencia mediante coeficientes que se relacionan con las condiciones reales del uso de la estructura.

La expresión matemática utilizada fue la siguiente:

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

Tabla 4. Factores de ajuste

Variable	Descripción
VUE	Vida útil estimada
VUD	Vida útil de diseño
A	Cofactor de diseño

B	Cofactor de materiales
C	Cofactor de ambiente interior
D	Cofactor de ambiente exterior
E	Cofactor de calidad constructiva
F	Cofactor de uso
G	Cofactor de mantenimiento

Elaborado por Roberth López (2026)

La metodología indica que cada cofactor puede ajustar la vida útil de referencia ya sea aumentando o disminuyendo, según las condiciones encontradas en la estructura. Los cofactores empleados en la investigación serán seleccionados de acuerdo con las condiciones estructurales, ambientales y funcionales previamente identificadas durante el análisis documental y evaluación de durabilidad del edificio, cada cofactor representa una variable específica que influye sobre el desempeño de la estructura:

Tabla 5. Condición de evaluación de cofactores

Cofactor	Condición evaluada
A	Calidad y criterios de diseño estructural
B	Calidad y comportamiento de materiales
C	Condiciones del ambiente interior
D	Condiciones del ambiente exterior
E	Calidad de ejecución constructiva
F	Intensidad y condiciones de uso
G	Nivel de mantenimiento

Elaborado por Roberth López (2026)

La utilización de estos cofactores permitirá relacionar técnicamente las condiciones reales del edificio con la durabilidad esperada de la infraestructura, la metodología ISO 15686 será aplicada utilizando información técnica previamente recopilada sobre el bloque FIIA D08. Para ello, se deberá analizar las condiciones generales de la estructura y su relación con los factores de vida útil establecidos por la norma, dentro del análisis se considerará aspectos como:

- Antigüedad de la edificación.
- Resistencia del hormigón.
- Condiciones ambientales marinas.
- Estado de conservación.
- Uso institucional continuo.
- Evidencia de deterioro estructural.
- Condiciones de mantenimiento.

La aplicación de la metodología permitirá evaluar el efecto combinado de estos factores sobre la vida útil remanente de la estructura.

3.5.1 Procesamiento de cofactores de la ISO 15686 mediante Python

La cuarta etapa metodológica de la investigación estará orientada al procesamiento y asignación de los cofactores correspondientes al método de factores de la ISO 15686, en esta etapa complementa el segundo objetivo específico de la investigación y tendrá como finalidad transformar la información técnica recopilada sobre la edificación en parámetros cuantificables que permitieran estimar la vida útil remanente de la estructura.

La metodología ISO 15686 establece que la vida útil estimada de una edificación depende de la interacción de diferentes factores relacionados con diseño, materiales, ambiente, uso y mantenimiento. Por esta razón, será necesario aplicar una técnica para asociar las condiciones reales observadas en la estructura con los cofactores del método de cálculo.

La asignación de los cofactores se realizará utilizando criterios técnicos obtenidos mediante el análisis documental y evaluación de durabilidad desarrollados en etapas anteriores de la investigación. Cada cofactor será definido de acuerdo con las condiciones reales identificadas en el bloque FIIA D08 de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Además, cada cofactor será valorado mediante escalas técnicas sustentadas en bibliografía, normativas vigentes, y resultados de estudios previos realizados sobre estimación de vida útil remanente en edificaciones de hormigón armado.

Para la aplicación de la metodología ISO 15686 se estima siete cofactores principales, cada uno asociado a una condición específica que influye sobre la durabilidad estructural de edificaciones de hormigón armado. Los cofactores utilizados fueron los siguientes:

Tabla 6. Identificación de cofactores

Cofactor	Condición evaluada
A	Diseño estructural
B	Calidad de materiales
C	Ambiente interior
D	Ambiente exterior
E	Calidad de ejecución constructiva
F	Condiciones de uso
G	Mantenimiento

Elaborado por Roberth López (2026)

Con el propósito de reducir subjetividad en la asignación de los cofactores y mejorar la confiabilidad técnica de la metodología, cada uno de los factores establecidos por la ISO 15686 será descompuesto en indicadores específicos de evaluación.

La utilización de indicadores permitirá desarrollar un procedimiento sistemático para analizar las condiciones reales de la estructura, evitando la asignación directa de valores generales sin criterios técnicos intermedios. De esta forma, cada cofactor será obtenido a partir del análisis de cuatro indicadores relacionados con las características estructurales, ambientales y funcionales de la edificación.

Los indicadores estarán definidos considerando variables técnicas asociadas a la durabilidad de edificaciones institucionales de hormigón armado y a las condiciones identificadas en el bloque FIIA D08 de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. La estructura de evaluación utilizada se presenta a continuación:

Tabla 7. Indicadores de cofactores

Cofactor	Indicadores considerados
A – Diseño estructural	Antigüedad, regularidad estructural, configuración resistente, normativa de diseño
B – Materiales	Resistencia del hormigón, fisuración, corrosión, degradación superficial
C – Ambiente interior	Ventilación, humedad interior, aislamiento de elementos internos, exposición a agentes agresivos
D – Ambiente exterior	Humedad ambiental, exposición marina, ciclos de humedecimiento y secado, concentración CO2 urbano
E – Calidad constructiva	Calidad de ejecución, control constructivo, acabados estructurales, evidencia de defectos
F – Condiciones de uso	Intensidad de ocupación, frecuencia de utilización, cargas de servicio, funcionalidad
G – Mantenimiento	Reparaciones previas, mantenimiento preventivo, conservación estructural, deterioro acumulado

Elaborado por Roberth López (2026)

Para evaluar la durabilidad y degradación funcional del Bloque FIIA D08 sin incurrir en ponderaciones subjetivas o propias, se implementa una Matriz de Homogenización de Indicadores, esta matriz desglosa cada uno de los 7 cofactores estipulados por la norma ISO 15686 (A, B, C, D, E, F, G) en cuatro subindicadores específicos a la naturaleza civil e institucional del proyecto. Una vez definidos los indicadores correspondientes a cada cofactor, se procederá a establecer valores a cada uno de los indicadores según la escala normalizada de evaluación para clasificar las condiciones observadas en la estructura. La escala asignada por la Metodología ISO 15686 definida mediante tres categorías generales de desempeño es:

Tabla 8. Clasificación de valores de cofactores

Clasificación	Valor asignado	Descripción
Desfavorable	0.8	Condición que reduce la durabilidad estructural
Normal	1.0	Condición aceptable de funcionamiento
Favorable	1.2	Condición que contribuye positivamente a la durabilidad

Fuente Hernandez (2016)

La clasificación “desfavorable” será utilizada para condiciones que pueden reducir la vida útil de la estructura debido a deterioro, envejecimiento o exposición agresiva, la clasificación “normal” representará condiciones estándar de funcionamiento, mientras que la categoría “favorable” corresponderá a condiciones que pueden contribuir positivamente a la durabilidad de la infraestructura.

La aplicación de la escala normalizada permitirá asignar valores específicos a cada uno de los cofactores evaluados en el bloque FIIA D08, la asignación se desarrollará considerando las características reales de la estructura y las condiciones identificadas durante el análisis

documental. Una vez definidos los valores correspondientes a cada cofactor, se procederá a desarrollar el procesamiento matemático de la metodología ISO 15686.

El valor final de cada cofactor será determinado mediante el promedio aritmético de los cuatro indicadores asociados a cada variable de evaluación. La expresión matemática utilizada será la siguiente ecuación:

$$CF = \frac{I_1 + I_2 + I_3 + I_4}{4} \quad (2)$$

Donde:

Tabla 9. Variables de evaluación

Variable	Descripción
CF	Valor del cofactor
I ₁	Indicador 1
I ₂	Indicador 2
I ₃	Indicador 3
I ₄	Indicador 4

Elaborado por Roberth López (2026)

Este procedimiento permitirá transformar las condiciones cualitativas observadas en parámetros cuantificables para el cálculo de vida útil remanente, la utilización del promedio aritmético permitirá obtener un valor representativo de cada cofactor a partir del comportamiento conjunto de sus indicadores, reduciendo la influencia de apreciaciones subjetivas y fortaleciendo la confiabilidad metodológica de la investigación.

La quinta etapa metodológica consistirá en la implementación computacional del modelo de cálculo mediante el lenguaje de programación Python, en esta etapa estará orientada

a automatizar el procesamiento matemático de los cofactores y optimizar el cálculo de la vida útil remanente de la estructura.

El modelo computacional desarrollado permitirá:

- Automatizar operaciones matemáticas.
- Reducir errores manuales.
- Facilitar el procesamiento de datos.
- Modificar variables de análisis.
- Mejorar la reproducibilidad del estudio.

La programación se estructurará mediante variables asociadas a cada cofactor y operaciones matemáticas basadas en la metodología ISO 15686. La implementación computacional permitirá desarrollar un procedimiento sistemático para el cálculo de vida útil remanente aplicable a edificaciones institucionales de hormigón armado.

3.6 Procedimiento de presentación de la evaluación técnica de remodelación o demolición

La presentación de los resultados derivados de esta investigación se estructurará de manera sistemática mediante el diseño y empleo de una matriz de ponderación, la cual consolidará los datos cualitativos y cuantitativos obtenidos en la fase de diagnóstico, esta matriz servirá como la base de datos de entrada para la ejecución de un algoritmo desarrollado en el lenguaje de programación Python. A través de esta plataforma computacional, se automatizará el cálculo matemático de los cofactores de durabilidad establecidos por la norma ISO 15686, lo que permitirá proyectar con precisión las curvas de degradación Y obtener así la vida útil estimada (VUE) de la edificación. La combinación de esta matriz con herramientas analíticas de Python asegura la replicabilidad del estudio, minimiza errores de cálculo y ofrece una presentación gráfica clara y detallada de los distintos escenarios técnicos analizados.

La sexta etapa metodológica de la presente investigación estará orientada al cumplimiento del tercer objetivo específico, relacionado con la evaluación de la viabilidad técnica de la remodelación estructural frente a la demolición en edificaciones institucionales de hormigón armado, en esta etapa constituye la fase final del procedimiento metodológico y tiene como finalidad interpretar los resultados obtenidos mediante la aplicación de la ISO 15686 para establecer criterios técnicos de toma de decisión sobre la infraestructura estudiada.

El propósito principal será determinar si la edificación presenta condiciones técnicas adecuadas para continuar en servicio mediante procesos de remodelación y ampliación vertical, o si las condiciones estructurales existentes hacen más viable técnicamente la demolición y reposición de la infraestructura.

Como parte de la evaluación técnica, se analizará la vida útil remanente estimada de la estructura obtenida mediante la metodología ISO 15686, este análisis permitirá identificar el nivel de desempeño esperado de la infraestructura considerando las condiciones reales de diseño, materiales, ambiente, uso y mantenimiento.

El tiempo de vida restante es una medida fundamental en los procedimientos de evaluación en estructuras, ya que facilita la estimación del tiempo donde una edificación puede continuar operando en condiciones aceptables de funcionalidad y seguridad estructural. La revisión de estos elementos contribuirá a identificar el nivel de deterioro de la infraestructura y su conexión con posibles expansiones, posteriormente, se evaluarán las condiciones actuales de la estructura del edificio para establecer su habilidad para soportar intervenciones estructurales.

La evaluación facilitará el análisis de si las condiciones actuales del edificio son compatibles con trabajos de rehabilitación y ampliación estructural. Una vez obtenidos los resultados referentes a la vida útil remanente y evaluadas las condiciones estructurales, se

realizará un análisis comparativo entre las opciones de remodelación y demolición. La remodelación estructural será considerable viable si la estructura muestra:

- Suficiente vida útil remanente
- Aceptables condiciones de conservación
- Viabilidad técnica para reforzar
- Funcionalidad para continuar en servicio
- Deterioro estructural que puede ser controlada

Por otro lado, se considerará técnica más viable la demolición cuando las condiciones estructurales muestren:

- Vida útil remanente limitada
- Deterioro estructural significativo.
- Limitaciones para ampliación vertical.
- Condiciones avanzadas de envejecimiento.
- Riesgos asociados al desempeño futuro de la estructura.

Este análisis permitirá desarrollar criterios técnicos de decisión fundamentados en durabilidad estructural y comportamiento esperado de la infraestructura. La evaluación de viabilidad técnica desarrollada en esta investigación se fundamentará en el principio de que la durabilidad estructural constituye un factor determinante dentro de procesos de remodelación, rehabilitación o reposición de edificaciones existentes.

la aplicación de la metodología hizo 15686 permitirá incluir aspectos de envejecimiento y rendimiento estructural en el proceso decisional, evitando valoraciones que se basan solo en criterios visuales o juiciosos subjetivos. Además, la investigación ayudará a establecer una conexión entre:

- Durabilidad de la estructura
- Tiempo remanente de vida útil
- Condiciones del entorno
- Potencial para ampliación
- Factibilidad de renovación

El bloque FIIA D08 será utilizado como caso de estudio para validar el procedimiento metodológico desarrollado en la investigación, la aplicación práctica permitirá verificar la funcionalidad de la metodología ISO 15686 como herramienta de apoyo para la evaluación técnica de remodelación o demolición en estructuras existentes.

3.6.1 Técnica de triangulación y análisis comparativos de datos

Con el propósito de otorgar una mayor robustez, validez y contrastación científica a los resultados obtenidos en esta investigación, se incorporará una fase de análisis comparativo mediante una matriz de correlación de variables frente a un estudio previo realizado sobre la misma infraestructura (Bloque FIIA D08 de la Uleam). Específicamente, se contrastarán los hallazgos de este proyecto con los resultados reportados por (Zambonino, 2025), cuyo enfoque metodológico se centró en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y el análisis de costos de reconfiguración estructural ante escenarios de ampliación.

La justificación de este análisis radica en que, a pesar de que ambas investigaciones abordan el problema desde perspectivas metodológicas distintas el estudio de Zambonino desde el comportamiento dinámico-estructural y la viabilidad económica de reforzamiento, y la presente investigación desde la estimación de la vida útil residual basada en la durabilidad del hormigón armado bajo la norma ISO 15686, ambos convergen en la determinación de la aptitud operativa del edificio. Para viabilizar este contraste, se diseñará una tabla comparativa

multidimensional al cierre del análisis de resultados, la cual estructurará los siguientes criterios de evaluación:

Enfoque metodológico principal: Contraste entre la modelación de vulnerabilidad sísmica frente al modelo de predicción de vida útil y degradación de materiales.

Criterio de intervención técnica: Evaluación de los requerimientos y costos de reforzamiento/reconformación frente al estado de agotamiento de la vida útil del hormigón.

Dictamen de viabilidad (Remodelación/Ampliación vs. Demolición): correlación entre la imposibilidad estructural de reforzar de Zambonino y la sugerencia de demolición debido al fin del ciclo de la vida útil que se determina en este análisis.

Esta interrelación de resultados permitirá probar de manera completa que la sugerencia de demolición de la estructura no se basa únicamente en un factor, si no que esta respalda de manera unánime tanto por las carencias de su capacidad de resistencia y un alto costo de reestructuración, como por el desgaste físico y degradación natural de los elementos estructurales.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

A continuación, se detallan los resultados obtenidos del Bloque FIHA D08 de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, donde se evaluaron los cofactores como diseño estructural, calidad de los materiales, ambiente interior, calidad de ejecución constructiva, condiciones de uso y nivel de mantenimiento, además, se determinó a través de la norma ISO 15686 la estimación cuantitativa de la vida útil y se llevó a cabo la interpretación final entre remodelar o demoler la edificación.

4.1 Ponderación de la Matriz de Cofactores (ISO 15686)

Se procedió a la desagregación analítica, evaluación y ponderación de los siete cofactores críticos definidos por el Método Cofactor de la norma ISO 15686, este procedimiento metodológico es indispensable debido a que las estructuras de hormigón armado no envejecen únicamente por el paso del tiempo cronológico, sino por el daño acumulado derivado de la sinergia entre sus propiedades intrínsecas y las agresiones extrínsecas de su entorno operativo.

El proceso de ponderación requirió la conversión de criterios cualitativos (observaciones visuales, crónicas de uso e historial de mantenimiento) y cuantitativos (ensayos de esclerometría y pachometría) en indicadores numéricos homogenizados mediante escalas de afectación bien definidas, a continuación, se presenta la justificación técnica y el desarrollo pormenorizado de la ponderación asignada a cada variable. Cada análisis está plenamente fundamentado en el estado patológico real evidenciado en la institución, la obsolescencia normativa de la edificación frente a las exigencias sismorresistentes actuales del Ecuador.

4.1.1 Cofactor A - Diseño estructural

Para evaluar las condiciones iniciales del proyecto del Bloque FIHA D08, se presenta la Matriz de Homogenización correspondiente al Cofactor A, enfocado en el Diseño Estructural, esta tabla sintetiza la valoración numérica asignada a las características del diseño original de la infraestructura, en su evaluación se toman en consideración cuatro aspectos críticos: la antigüedad del inmueble, la regularidad geométrica tanto en planta como en elevación, la configuración de su sistema resistente y la rigurosidad de la normativa sismorresistente vigente al momento de su proyección en la década de 1980.

Tabla 9. Valores de Indicadores de Cofactor A.

A - Diseño estructural

Indicador	0.8	1	1.2	Valor	Cofactor
<i>Antigüedad</i>	x			0.8	0.85
<i>Regularidad estructural</i>		x		1	
<i>Configuración resistente</i>	x			0.8	
<i>Normativa de diseño</i>	x			0.8	

Elaborado por Roberth López (2026)

Una vez asignadas las calificaciones individuales a los indicadores, se aplicó la **Ecuación (2)**, el uso de esta fórmula matemática responde a la necesidad de promediar aritméticamente los cuatro subindicadores considerados (Antigüedad, Regularidad estructural, Configuración resistente e Normativa de diseño), logrando transformar criterios cualitativos de la revisión documental en un parámetro cuantitativo unificado, este procedimiento mitiga la subjetividad en la ponderación global y asegura que el valor final sea fiel al comportamiento conjunto de todas las variables de diseño.

$$CF = \frac{0.8 + 1 + 0.8 + 0.8}{4} = 0.85$$

El procesamiento matemático de los datos determinó que el Cofactor calculado para el Diseño Estructural es de **0.85**. Al situarse por debajo de la unidad (1.00), este resultado se interpreta como **desfavorable** para la durabilidad a largo plazo de la infraestructura, esta condición negativa se fundamenta principalmente en la obsolescencia normativa de la edificación, proyectada bajo códigos de los años 80 que no se alinean a las exigencias actuales de la NEC-15, convirtiendo al diseño original en un factor que castiga la vida útil estimada del bloque.

4.1.2 Cofactor B - Calidad de materiales

La resistencia pasiva de la estructura frente al avance de patologías crónicas se evalúa mediante la matriz del Cofactor B, enfocado en la Calidad de los Materiales, esta siguiente tabla

detalla las puntuaciones asignadas a las propiedades físico-químicas actuales de los elementos estructurales. Para este análisis se toman en cuenta la resistencia real a la compresión del hormigón (obtenida mediante esclerometría), la integridad interna del acero de refuerzo (evaluada por pachometría), la presencia y avance de la corrosión electroquímica y el grado de degradación superficial visible en los pórticos.

Tabla 10. Valores de Indicadores de Cofactor B.

B - Calidad de materiales					
Indicador	0.8	1	1.2	Valor	Cofactor
<i>Resistencia del hormigón</i>	x			0.8	0.8
<i>Integridad del acero de refuerzo</i>	x			0.8	
<i>Corrosión</i>	x			0.8	
<i>Degradación superficial</i>	x			0.8	

Elaborado por Roberth López (2026)

Posterior al registro de los datos experimentales, se utilizó la **Ecuación (2)** con la finalidad de consolidar matemáticamente el estado material del edificio, se seleccionó este modelo de promedio aritmético para balancear uniformemente el peso de los cuatro indicadores clave (Resistencia del hormigón, Integridad del acero, Corrosión e Degradación superficial). Su empleo permite que la pérdida de resistencia mecánica y los procesos químicos degradantes se unifiquen en un solo coeficiente reductor representativo del daño sistémico del hormigón armado.

$$CF = \frac{0.8 + 0.8 + 0.8 + 0.8}{4} = 0.8$$

Como resultado final, se obtuvo un Cofactor calculado de **0.80** para la Calidad de los Materiales, este valor clasifica al factor plenamente como **desfavorable**, ejerciendo una penalización directa del 20% sobre la expectativa de servicio de la edificación, la interpretación de este resultado refleja que la pérdida de resistencia del hormigón por debajo de los 21 MPa

nominales y la corrosión activa inducida por cloruros representan un riesgo inminente, acelerando de forma crítica el agotamiento de la vida útil del bloque.

4.1.3 Cofactor C - Ambiente Interior

Las variables higrotérmicas y micro climáticas estables que se desarrollan dentro de las áreas operativas del Bloque FIIA D08 son evaluadas en la matriz del Cofactor C, correspondiente al Ambiente Interior, la siguiente tabla expone las calificaciones de las condiciones en las que interactúan los usuarios y los elementos internos del edificio, en esta evaluación se toman en consideración factores protectores y de riesgo como: la efectividad de la ventilación natural, el control de la humedad interior, el aislamiento de los elementos de hormigón respecto al entorno exterior y la exposición a agentes agresivos o químicos localizados.

Tabla 11. Valores de Indicadores de Cofactor C

C - Ambiente Interior					
Indicador	0.8	1	1.2	Valor	Cofactor
Ventilación	x			0.8	1
Humedad interior		x		1	
Aislamiento de elementos internos		x		1	
Exposiciones agentes agresivos			x	1.2	

Elaborado por Roberth López (2026)

La determinación cuantitativa de este factor se efectuó mediante la aplicación de la **Ecuación (2)**, la cual promedia las cuatro variables de entorno interno catalogadas en el diagnóstico (Ventilación, Humedad interior, Aislamiento e Exposición a agentes agresivos), se utiliza este procedimiento con el objetivo de equilibrar las condiciones positivas de la

arquitectura pasiva frente a los riesgos micro climáticos, proporcionando un indicador numérico neutro y libre de sesgos que influyan de forma desproporcionada en el algoritmo de cálculo global.

$$CF = \frac{0.8 + 1 + 1 + 1.2}{4} = 1$$

El procesamiento matemático arrojó un Cofactor calculado para el Ambiente Interior de **1.00**. De acuerdo con la escala estandarizada de la norma ISO 15686, este valor representa un impacto **normal** o neutro en la estimación de la durabilidad, esto significa que, si bien la edificación no cuenta con sistemas avanzados de acondicionamiento, el diseño arquitectónico original permite una ventilación cruzada aceptable y una mampostería que resguarda las columnas internas, logrando que el ambiente interior no sume deterioro, pero tampoco extienda de forma extraordinaria la vida útil.

4.1.4 Cofactor D - Ambiente exterior

Para dosificar la severidad de las solicitaciones macro meteorológicas y los ataques químicos exógenos que sufre la estructura, se presenta la matriz del Cofactor D, que evalúa el Ambiente Exterior, en la siguiente tabla se tabulan las agresiones atmosféricas del entorno costero donde se asienta la infraestructura, los indicadores considerados para esta ponderación abarcan la elevada humedad ambiental sostenida, la exposición directa a aerosoles marinos (brisa salina), los ciclos de humedecimiento y secado causados por la radiación solar y la concentración de dióxido de carbono (CO₂) de origen vehicular urbano.

Tabla 12. Valores de Indicadores de Cofactor D

D - Ambiente exterior					
Indicador	0.8	1	1.2	Valor	Cofactor
<i>Humedad ambiental</i>	x			0.8	0.85
<i>Exposición marina</i>	x			0.8	
<i>Ciclos de humedecimiento y secado</i>	x			0.8	
<i>Concentración de CO₂ urbano</i>		x		1	

Elaborado por Roberth López (2026)

Posterior al análisis de la severidad climática del emplazamiento, se empleó la **Ecuación (2)** para resolver el valor unificado del factor ambiental, la ecuación es indispensable para integrar matemáticamente la acción simultánea de las cuatro variables atmosféricas evaluadas (Humedad ambiental, Exposición marina, Ciclos térmicos e Concentración de CO₂). Su uso permite calibrar el peso específico de la agresividad del entorno costero sobre la velocidad de carbonatación, entregando un coeficiente que modela adecuadamente el ataque del medio exterior sobre la estructura.

$$CF = \frac{0.8 + 0.8 + 0.8 + 1}{4} = 0.8$$

El cálculo final dio como resultado un Cofactor del Ambiente Exterior de **0.85**, este valor se tipifica como **desfavorable** para la preservación de la estructura a largo plazo, el resultado refleja el impacto crítico de la ubicación geográfica del campus de la ULEAM en Manta, donde la constante niebla salina y la humedad relativa superior al 75% actúan como catalizadores severos que ya han sobrepasado el recubrimiento de hormigón, promoviendo la degradación continua de los pórticos expuestos.

4.1.5 Cofactor E - Calidad de ejecución Constructiva

La identificación y ponderación de los posibles defectos congénitos o virtudes operativas heredadas durante la fase de construcción real se sintetizan en la matriz del Cofactor E, enfocado en la Calidad de Ejecución Constructiva, esta tabla recopila la valoración técnica asignada a las prácticas de puesta en obra del año 1986, para su análisis se tomaron en consideración cuatro indicadores normativos: el nivel técnico de la ejecución, la rigurosidad del control constructivo de la época, los acabados estructurales logrados y la evidencia histórica o actual de defectos de fundición como coqueras o segregación.

Tabla 13 Valores de Indicadores de Cofactor E

E - Calidad de ejecución Constructiva					
Indicador	0.8	1	1.2	Valor	Cofactor
<i>Calidad de ejecución</i>		x		1	1
<i>Control constructivo</i>		x		1	
<i>Acabados estructurales</i>		x		1	
<i>Evidencia de defectos</i>		x		1	

Elaborado por Roberth López (2026)

Con los datos de inspección y revisión documental asentados, se ejecutó la **Ecuación (2)** con el propósito de deducir el coeficiente de la ejecución física de la obra, la aplicación de este promedio aritmético obedece a la necesidad de contrastar sistemáticamente los cuatro indicadores de construcción (Calidad de ejecución, Control constructivo, Acabados estructurales e Evidencia de defectos), esto garantiza una base de cálculo objetiva donde los aciertos y las fallas del constructor se homogenizan matemáticamente sin alterar arbitrariamente el modelo predictivo de vida útil.

$$CF = \frac{1 + 1 + 1 + 1}{4} = 1$$

El procesamiento matemático determinó un Cofactor calculado para la Calidad de Ejecución de **1.00**, de acuerdo con los criterios metodológicos, este resultado se clasifica con un impacto **normal**, la interpretación de este valor neutro evidencia que, en su estado primigenio, el Bloque cumplió de forma aceptable con los estándares de control de calidad vigentes en su década de construcción, permitiendo que el esqueleto sismorresistente respondiera adecuadamente a las demandas mecánicas iniciales durante sus primeras dos décadas de servicio sin fallas congénitas graves.

4.1.6 Cofactor F - Condiciones de uso

El desgaste funcional y la fatiga mecánica acumulada debido a la operación diaria de la edificación se analizan mediante la matriz del Cofactor F, que define las Condiciones de

Uso, la tabla a continuación expone la ponderación cualitativa y cuantitativa de las solicitudes dinámicas impuestas por la actividad del inmueble, en su estructura se evalúan detalladamente cuatro indicadores operativos: la intensidad de ocupación, la frecuencia diaria de utilización por parte de la comunidad universitaria, el cumplimiento de las cargas de servicio de diseño y la funcionalidad espacial general de las aulas.

Tabla 14. Valores de Indicadores de Cofactor F

F - Condiciones de uso					
Indicador	0.8	1	1.2	Valor	Cofactor
<i>Intensidad de ocupación</i>	x			0.8	0.9
<i>Frecuencia de utilización</i>	x			0.8	
<i>Cargas de servicio</i>		x		1	
<i>Funcionalidad</i>		x		1	

Elaborado por Roberth López (2026)

Una vez establecidas las calificaciones de la actividad operativa, se aplicó la **Ecuación (2)** para resolver el coeficiente global de uso, el uso de esta fórmula matemática es fundamental para ponderar el efecto combinado de los cuatro componentes de carga estipulados (Intensidad de ocupación, Frecuencia de utilización, Cargas de servicio e Funcionalidad), el promedio aritmético permite cuantificar de qué manera las sobrecargas normativas y la fatiga mecánica acumulada influyen directamente en la micro fisuración del hormigón a lo largo de las cuatro décadas de servicio continuo.

$$CF = \frac{0.8 + 0.8 + 1 + 1}{4} = 0.9$$

ras la resolución de la fórmula, se obtuvo un Cofactor de Condiciones de Uso calculado en **0.90**, este valor dictamina un comportamiento **desfavorable** moderado para el comportamiento temporal de la edificación, su interpretación técnica denota que el uso continuo y de alta intensidad propio de un centro educativo masivo ha provocado una fatiga

mecánica constante por cargas vivas cíclicas, lo que debilita progresivamente la capacidad portante residual en losas y vigas, acelerando de este modo el envejecimiento del bloque.

4.1.7 Cofactor G - Nivel de Mantenimiento

Para examinar las políticas de conservación institucional y el impacto de las intervenciones preventivas a lo largo del tiempo, se presenta la matriz del Cofactor G, referente al Nivel de Mantenimiento, la tabla resume las calificaciones del estado de preservación técnica que ha recibido el bloque, la evaluación se fundamenta en el análisis de cuatro indicadores clave: el registro de reparaciones previas, la ejecución de planes de mantenimiento preventivo calendarizado, las obras destinadas a la conservación estructural integral y el nivel de deterioro patológico acumulado e irreversible.

Tabla 15. Valores de Indicadores de Cofactor G

G - Mantenimiento					
Indicador	0.8	1	1.2	Valor	Cofactor
<i>Reparaciones previas</i>		x		1	0.85
<i>Mantenimiento preventivo</i>	x			0.8	
<i>Conservación estructural</i>	x			0.8	
<i>Deterioro acumulado</i>	x			0.8	

Elaborado por Roberth López (2026)

Finalmente, los datos de la gestión del activo se procesaron a través de la **Ecuación (2)** con el fin de definir matemáticamente el coeficiente de conservación, se aplicó el método de promedio aritmético para acoplar las cuatro variables de gestión (Reparaciones previas, Mantenimiento preventivo, Conservación estructural e Deterioro acumulado), esto permite contrarrestar el impacto de los arreglos cosméticos recientes contra la falta de intervenciones

profundas, impidiendo sesgos y asegurando una modelación matemática objetiva del comportamiento del hormigón ante la ausencia de protección especializada.

$$CF = \frac{1 + 0.8 + 0.8 + 0.8}{4} = 0.85$$

El cálculo determinó que el Cofactor final del Nivel de Mantenimiento es de **0.85**, este resultado se posiciona como el factor más críticamente **desfavorable** dentro del diagnóstico, la interpretación de esta baja calificación demuestra que las intervenciones institucionales han sido meramente reactivas y superficiales (estética y pintura), careciendo de tratamientos especializados como inhibidores de corrosión o impermeabilizaciones epóxicas, lo que ha generado un estado de deterioro acumulado irreversible que reduce drásticamente la vida útil residual del Bloque FIIA D08.

4.2 Cálculo de la Vida Útil de Estimada (ISO 15686-1)

Para establecer la resistencia del bloque FIIA D08, se ha estipulado una vida útil de diseño de 90 años, una cifra que se fundamenta en la clasificación del edificio como una estructura institucional, cuya duración estimada según la norma ISO 15686, va entre 50 y 100 años, la elección de 90 años se fundamenta en la importancia estratégica del bloque en el campus de la ULEAM y la necesidad de garantizar mayores niveles de resiliencia para el servicio educativo. El valor de 90 años constituye el horizonte temporal de referencia (VUD) contra el cual se contrastará la Vida Útil Estimada (VUE) resultante del análisis de cofactores, permitiendo determinar con precisión el grado de obsolescencia actual del sistema estructural tras sus 40 años de servicio efectivo, el modelo probabilístico integra las variables operativas y del entorno recopiladas, cuyos promedios indexados por cada cofactor se detallan a continuación:

Tabla 10. Cálculo de la Vida Útil estimada

Cofactor	Valor
Cofactor A (Nivel de Diseño)	0.85
Cofactor B (Calidad de Materiales)	0.80
Cofactor C (Ambiente Interno)	1.00
Cofactor D (Ambiente Externo)	0.85
Cofactor E (Calidad de Ejecución)	1.00
Cofactor F (Condiciones de Uso)	0.90
Cofactor G (Nivel de Mantenimiento)	0.85

Elaborado por Roberth López (2026)

El análisis conjunto de los datos permite identificar que ninguno de los cofactores evaluados superó la unidad (1.00), lo que significa que el Bloque no cuenta con ninguna condición extraordinaria que extienda de manera favorable su durabilidad con respecto a los estándares teóricos, por el contrario, se evidencia una fuerte predominancia de factores penalizadores, los cofactores C (Ambiente Interno) y E (Calidad de Ejecución Constructiva) se mantuvieron en un valor neutro de 1.00, indicando que la configuración arquitectónica pasiva y la puesta en obra original de la década de 1980 no suman deterioro inmediato, pero tampoco actúan como agentes de protección adicional para la estructura.

En contraste, la combinación de los cinco cofactores restantes genera un escenario altamente vulnerable para la conservación del inmueble a largo plazo, el decremento más crítico se registra en el Cofactor B (Calidad de Materiales) con un valor de 0.80, impulsado por la pérdida de resistencia mecánica y los procesos de corrosión activa medidos en los pórticos principales. A este deterioro material se le suman las penalizaciones severas del Diseño Estructural (Cofactor A: 0.85) debido a la obsolescencia sismorresistente, el Ambiente Exterior (Cofactor D: 0.85) por la agresividad de la brisa marina y humedad de la zona costera de Manta, y el Nivel de Mantenimiento (Cofactor G: 0.85), condicionado por la ausencia histórica de

políticas de conservación preventiva institucional, finalmente, las Condiciones de Uso (Cofactor F: 0.90) añaden un castigo moderado debido a la fatiga mecánica por sobrecargas cíclicas de la población universitaria.

A partir de la matriz de ponderación metodológica desarrollada bajo los lineamientos de la norma ISO 15686 y los criterios de homogenización del estado patológico y ambiental del Bloque FIHA D08, se procedió al cálculo matemático aplicando la **ecuación (1)**, el análisis de resultados se apoya en una modelación matemática avanzada para proyectar la aptitud de servicio de la estructura a lo largo del tiempo. Mediante el script implementado en Python, se ha calculado la Vida Útil Estimada (VUE) a partir de la ponderación de los cofactores de diseño, materiales y entorno, este modelo computacional no solo arroja el valor exacto de la vida útil residual, sino que genera la curva de degradación que permite visualizar, con rigor científico, cómo la capacidad operativa de la edificación desciende por debajo del umbral admisible del 50%, validando así la necesidad de intervención inmediata.

A diferencia de las hojas de cálculo tradicionales, la implementación mediante Python asegura la repetibilidad del modelo, facilita el análisis de sensibilidad ante cambios en los parámetros climáticos (agresividad ambiental) y permite la generación de gráficos vectoriales de alta resolución, cumpliendo con los estándares de calidad académica exigidos para este nivel de investigación

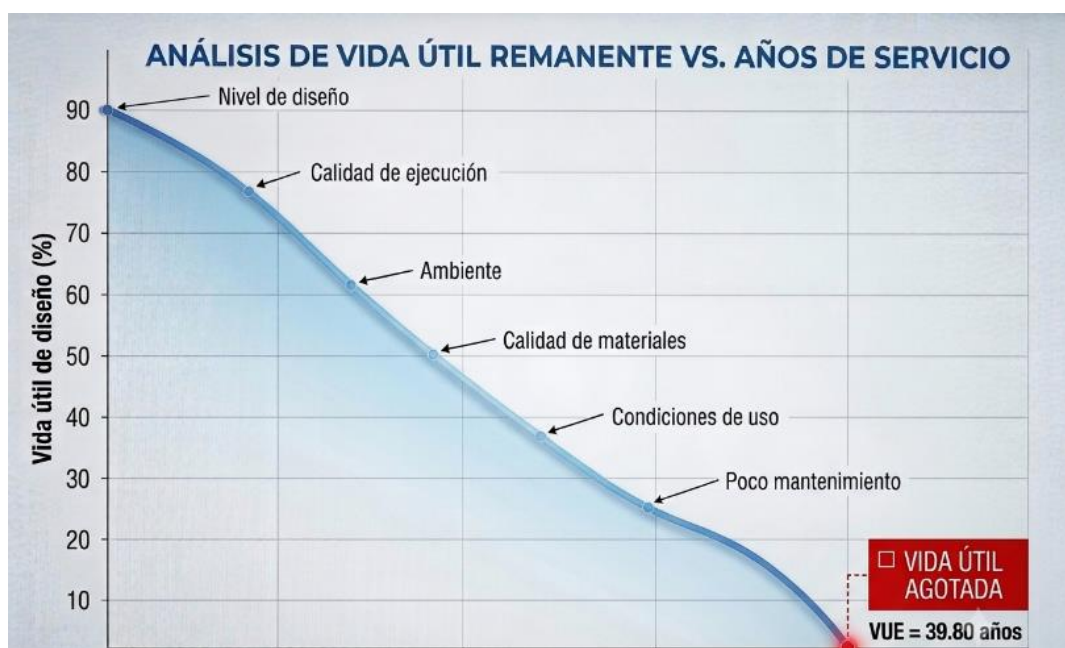


Ilustración 15. Modelo de Degradación de vida útil -Bloque FIIA D08

Imagen modificada con IA

Como se puede apreciar en el gráfico anterior, la curva real de degradación experimenta una contracción temporal acelerada con respecto a la vida útil de diseño debido a la influencia multiplicativa de los cofactores desfavorables obtenidos en el diagnóstico, al procesar las condiciones críticas de diseño e integridad física de los componentes mediante el algoritmo en Python, el modelo matemático proyecta de forma visual el comportamiento de la edificación a lo largo del tiempo, evidenciando el momento exacto en que el desempeño del bloque intercepta el límite de servicio mínimo permisible.

4.3 Cálculo de la Vida útil residual

Para establecer el estado de obsolescencia funcional del edificio, se realiza el balance temporal confrontando la edad cronológica real de la estructura frente al umbral predictivo calculado por el método ISO. Tomando como partida el año de edificación del Bloque FIIA D08 (1986) y el año del presente análisis (2026), la estructura registra una edad operativa de 40 años. La Vida Útil Residual (VUR) se define mediante la ecuación general:

$$VUR = VUE - T \quad (3)$$

Dónde:

VUE: Vida Útil Estimada

T: Tiempo Construido

Aplicamos la **Ecuación (3)**, donde el tiempo de construcción del Bloque D08 es de 40 años y la vida útil ya calculada es de 39.80 años.

$$VUR = 39.80 - 40 = -0.2 \text{ años}$$

El signo negativo en el resultado de la VUR es un indicador geotécnico y estructural crítico, significa numéricamente que el Bloque FIIA D08 agotó su vida útil funcional degradada hace 0.2 años, alcance temporal situado aproximadamente en el año actual.

4.4 Triangulación y Análisis Comparativo de Resultados

Con el objetivo de validar y dar mayor peso científico a los hallazgos encontrados en esta investigación, se procedió a realizar un análisis comparativo y cruzado con el estudio de vulnerabilidad sísmica desarrollada por sobre el mismo objeto de estudio (Bloque FIIA D08). La siguiente tabla expone de manera estructurada los contrastes y las convergencias metodológicas y analíticas entre ambos trabajos de titulación.

Tabla 11. Matriz comparativa de criterios técnicos y dictámenes de viabilidad

Criterio de Evaluación	Estudio de Vulnerabilidad Sísmica (Zambonino, 2025)	Metodología ISO 15686 (López, 2026)
Enfoque Metodológico Principal	Evaluación del comportamiento dinámico-estructural y análisis de la respuesta sísmica de la edificación.	Estimación predictiva de la vida útil residual basada en los factores de degradación del hormigón armado (ISO 15686).
Variables Críticas Analizadas	Derivas de piso Capacidad resistente de elementos constructivos Demanda sísmica según la NEC-15	Diseño de la edificación Resistencia a la compresión Factores ambientales y de mantenimiento Patologías estructurales
Criterio de Intervención Técnica	Necesidad de reconfiguración estructural y reforzamiento para cumplir la normativa sismo resistente	Agotamiento físico y mecánico de los materiales superando el umbral admisible de la vida útil de diseño
Viabilidad de Ampliación	El incremento de cargas por amplificación exige un rediseño de los elementos estructurales como la cimentación, elementos portantes y geométricamente complejos	La estructura ha alcanzado su ciclo de vida útil, por lo que no posee la actitud de servicio para soportar cargas adicionales
Análisis Económico Preliminar	El costo de la reconfiguración y reforzamiento estructural es extremadamente elevado superando los presupuestos de optimización	El costo de mantenimiento correctivo supera el valor de reposición de infraestructura a mediano y largo plazo
Dictamen Técnico Final	Se recomienda descartar la ampliación/reforzamiento y optar por la demolición debido al alto riesgo y costo de reconfiguración.	Se recomienda la demolición selectiva y la construcción de una nueva infraestructura bajo criterios de sostenibilidad y durabilidad.

Elaborado por Roberth López (2026)

El estudio comparativo presentado en la tabla 11 señala una coincidencia total en la conclusión final de ambas indagaciones, a pesar de haberse elaborado desde enfoques metodológicos y de ingeniería completamente distintos. Por un lado, (Zambonino, 2025) examina el asunto desde la perspectiva de la ingeniería sísmica, identificando que el bloque FIIA D08 exhibe una notable vulnerabilidad y que los gastos vinculados a una posible reestructuración para una expansión sería extremadamente altos y complejos desde el punto de vista técnico. Por otro lado, la presente investigación analiza el fenómeno a través de la evaluación del ciclo de vida utilizando la metodología ISO 15686, demostrando de manera cuantitativa que los elementos de hormigón armado han alcanzado el final de su vida útil funcional y de servicio debido a los procesos de degradación tanto natural como ambiental.

4.4.1. Interpretación Final

El análisis predictivo y la modelación matemática de la durabilidad estructural del Bloque FIIA D08, consolidados a través de la metodología del factor de la norma ISO 15686 y visualizados en la curva de degradación del grafico anterior, proveen los criterios objetivos definitivos para dictaminar la viabilidad de la infraestructura, la gráfica de Vida Útil

Remanente vs. Años de Servicio evidencia de forma irrefutable que el inmueble ha alcanzado su límite operativo absoluto a los 39.80 años, declarando formalmente un estado de Vida Útil Agotada, a partir de este umbral técnico, las propiedades mecánicas y químicas del hormigón armado pierden la capacidad de garantizar la seguridad estructural y la aptitud de servicio requeridas para albergar a la comunidad universitaria.

4.3.1.1 Demoler

Al contrastar las alternativas de intervención, la opción de una remodelación y reforzamiento estructural queda técnicamente descartada, la severa degradación físico-

química de la matriz del hormigón (Cofactor B: 0.80), sumada a la profunda obsolescencia sismorresistente del diseño original de los años 80 (Cofactor A: 0.85), implica que cualquier intento de rehabilitación exigiría una intervención invasiva de altísima complejidad arquitectónica e ingeniería reconstructiva, mediante el ACV se determinó que, el costo por metro cuadrado necesario para encamisar pórticos, sanear la corrosión generalizada por cloruros y rigidizar la estructura para cumplir con la norma NEC-15 actual, igualaría o superaría el presupuesto requerido para una edificación nueva, configurando un escenario de pérdidas económicas crónicas para la universidad debido a que los materiales base ya presentan un daño interno irreversible.

Por consiguiente, fundamentado en la inviabilidad económica, los riesgos latentes de seguridad estructural y el agotamiento matemático del ciclo de vida útil del edificio, se dictamina la Demolición Definitiva del Bloque FIIA D08 como la única alternativa técnicamente sustentable, esta decisión estratégica permitirá mitigar la vulnerabilidad del campus de la ULEAM ante eventos sísmicos severos y abrirá paso a la planificación de una nueva infraestructura dotada de materiales de alta durabilidad, diseños estructurales modernos y sistemas de protección pasiva adecuados para resistir de forma eficiente la agresividad del ambiente marino de la ciudad de Manta.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Tras llevar a cabo un análisis exhaustivo y haber procesado los datos técnicos utilizando la metodología ISO 15686, se ha conseguido establecer un panorama nítido sobre el rendimiento de proyección de la vida útil del Bloque FIIA D08. En este capítulo se exponen las conclusiones más relevantes que surgieron de esta investigación, las cuales cumplen con los objetivos planteados y resumen los descubrimientos más destacados del estudio.

5.1 Conclusiones

En primer lugar se alcanzó de manera efectiva con el primer objetivo específico al elaborar un diagnóstico técnico exhaustivo del estado actual de la institución evaluada, mediante la revisión bibliográfica y visual, se pudo detectar los grados de deterioro del concreto reforzado y las condiciones de funcionamiento actuales, lo que ofreció la base esencial para prever el desempeño de la estructura y respaldar los análisis futuros sobre la vida útil de la edificación en base a la metodología ISO 15686

Se determinó, a través de la implementación del método de los cofactores de la norma ISO 15686, que el bloque FIIA D08 posee una vida útil estimada (VUE) de 39,80 años. Al comparar este número con la edad real de la estructura, que es de 40 años, se llega a la conclusión de que la edificación ha excedido su límite de servicio técnico en - 0.2 años. Esta situación adversa indica que la construcción se encuentra en un estado de vulnerabilidad estructural, dado que las acciones de mantenimiento realizadas a lo largo del tiempo no han logrado frenar la progresión del frente de carbonatación ni la corrosión activa de sus elementos estructurales.

Después de llevar a cabo la evaluación y el análisis del ciclo de vida, se llega a la conclusión que la opción de renovación y refuerzo estructural no es viable a largo plazo, aunque implique un menor uso inicial de materiales, exige mantenimientos correctivos frecuentes y costosos que aumentan dramáticamente la huella del carbono y no aseguran la integridad estructural, en cambio la demolición selectiva se propone como alternativa factible, aunque requiera una inversión inicial mayor, permite manejar los residuos de acuerdo a los principios de la economía circular y asegura el cumplimiento correcto de la NEC-15.

En definitiva, esta decisión cuenta con un sólido respaldo al comparar y cruzar los resultados de esta investigación con la evaluación de la vulnerabilidad sísmica realizada por (Zambonino, 2025) sobre el mismo edificio. Al correlacionar ambos enfoques analíticos, se revela una total coincidencia en el dictamen técnico final, mientras tanto, el análisis dinámico previo demuestra que no es válido un refuerzo para la ampliación del bloque FIHA D08. El modelo de evaluación de vida útil ISO 15686 utilizada en este estudio confirma de manera cuantitativa el deterioro de la estructura, así, la combinación de criterios técnicos y económicos de dos metodologías diferentes valida de forma definitiva que la demolición técnica es la única opción segura y sostenible para el futuro de la institución.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda establecer un programa de inspección estructural semestral mediante la aplicación de ensayos no destructivos (esclerometría) en las edificaciones institucionales de hormigón armado de la universidad, permitiendo la toma de decisiones basadas en datos técnicos y no en el deterioro visible.
- Integrar la metodología de Cálculo de Vida Útil (ISO 15686) dentro de la gestión del inventario de infraestructura universitaria, con el propósito de planificar de manera oportuna futuras reposiciones de edificios de forma preventiva

- Se sugiere acomedidamente detener las inversiones en reparaciones superficiales (pintura, resanes menores) en el Bloque FIIA D08 de la ULEAM, dado que dichos arreglos no detienen la degradación estructural ni corrigen la vulnerabilidad sísmica identificada en el presente estudio.
- Iniciar los procesos técnicos y administrativos necesarios para dar paso a la demolición selectiva, fundamentada en la obsolescencia técnica del inmueble y el riesgo latente ante eventos sísmicos.
- Replicar este tipo de investigación en otras edificaciones institucionales de la ULEAM con la finalidad de evaluar su estado actual, estimar su vida útil y proporcionar criterios técnicos que orienten a la correcta toma de decisiones según la condición de cada estructura.

6. BIBLIOGRAFÍA

Arcila, C., & Helene, P. (2004). *Predicción de la vida útil de las estructuras.*

<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2025/03/04.09.30VidaUtilCartagena.pdf>

Arevalo, J., & Quizhpi, R. (2017). *ANÁLISIS DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC_2015 Y VERIFICACIÓN FÍSICA Y NORMATIVA EN LA CIUDAD DE CUENCA.* <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/96981d66-1cae-4005-ad01-ec64d759cae8>

Arias, J., & Guaman, J. (2022). *REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL, BASADO EN EL COMPORTAMIENTO Y DESEMPEÑO SÍSMICO, EN UNA CONSTRUCCIÓN INFORMAL ELABORADA EN HORMIGÓN ARMADO, EN GUAJALÓ, CANTÓN QUITO, PROVINCIA PICHINCHA, EN EL AÑO 2021.*

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22218/1/UPS%20-%20TTS696.pdf>

Arteaga, P. (2016). *ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, REHABILITACION Y EVALUACIÓN DEL INDICE DE DAÑO DE UNA EDIFICACION PERTENECIENTE AL PATRIMONIO CENTRAL EDIFICADO EN LA CIUDAD DE CUENCA- ECUADOR.* <https://dspace-test.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26547/1/tesis.pdf>

BECOSAN. (2022, abril). *Patologías más comunes del hormigón.*

Brito, G., & Atalaya, P. (2023). *Estimación del tiempo de vida residual de dos edificaciones con sistema dual aplicando la norma ISO 15686.* <http://hdl.handle.net/10757/669876>

Cambra, A. (2023). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de edificios: qué es y cómo calcularlo.*

Cárdenas, D., & Ruilova, J. (2022). *EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES.* <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstreams/5d8e0691-1d18-4077-b2d4-038b77461eeb/download>

- Constante Castro, W. J. (2024). *Diseño estructural de hormigón armado en una edificación irregular con muros de corte en el Cantón Jipijapa*.
- De, N. E., & Construcción, L. A. (2014). *ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO*.
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/8.-NEC-SE-HM-Hormigon-Armado.pdf>
- Echeverry Patiño, M. (2017). *Diseño estructural sismo resistente de edificio para oficinas de Docentes de la facultad de Ciencias Técnicas de la UNESUM*.
- Eurofins. (2024). *ISO 14040: Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia*.
<https://www.eurofins-environment.es/es/iso-14040-principios-relacionados-gestion-ambiental/>
- Eurofins. (2025). *Análisis de Ciclo de Vida (ACV): qué es y para qué sirve*.
- Fahlstedt, O., Rasmussen, F. N., Temeljotov-Salaj, A., Huang, L., & Bohne, R. A. (2024). Building renovations and life cycle assessment - A scoping literature review. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 203). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114774>
- Gambau, D. A. (2021). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en los Edificios*. https://gbce.es/wp-content/uploads/2021/01/David-Alemany_ACV-en-los-edificios.pdf
- García-Erviti, F., Armengot-Paradinas, J., & Ramírez-Pacheco, G. (2015). El análisis del coste del ciclo de vida como herramienta para la evaluación económica de la edificación sostenible. Estado de la cuestión. *Informes de la Construcción*, 67(537), e056.
<https://doi.org/10.3989/ic.12.119>
- Garduño Chávez, I. J. (s/f). *Estudios y evaluación estructural sobre la ampliación de un edificio en el conjunto sur de la Facultad de Ingeniería*. Recuperado el 3 de julio de

2026, de

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10954/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hernandez, S. (2016). *¿Cómo se mide la vida útil de los edificios?*

https://revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/67_4/PDF/VidaUtilEdificios.pdf

Huuhka, S., Moisio, M., Salmio, E., Köliö, A., & Lahdensivu, J. (2023). Renovate or replace?

Consequential replacement LCA framework for buildings. *Buildings and Cities*, 4(1), 212–228. <https://doi.org/10.5334/bc.309>

Inmuebles24. (2022). *¿Cómo se calcula la vida útil de los edificios? Esta disciplina lo explica.*

Ipiates Aguirre, M. R. I. A. (2015). *Guía de Evaluación de Estructuras de Hormigón Armado y procedimientos de ensayos no destructivos, previo a su intervención y reparación.*

ISO ORG. (2011). *ISO 15686-1:2011(en) Edificios y activos construidos — Planificación de la vida útil — Parte 1: Principios generales y marco.*

<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:15686:-1:ed-2:v1:en>

Jørgensen, M. B., Kristoffersen, A. E., & Kamari, A. (2025). Evaluating the Environmental

Impact of Building Renovation Depth: A Danish Perspective. *Sustainability*, 17(24), 11107. <https://doi.org/10.3390/su172411107>

Latorre Aizaga, H. J. (2024). Avances en el Uso del Hormigón Armado en Ingeniería Civil:

Una revisión sistemática. *Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 9(3), 47–68. <https://doi.org/10.33262/rmc.v9i3.3161>

- Li, H., Wu, X., Nie, Q., Yu, J., Zhang, L., Wang, Q., & Gao, Q. (2025). Lifetime prediction of damaged or cracked concrete structures: A review. *Structures*, 71, 108095.
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.108095>
- MIDUVI. (2014). *Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción)*.
- Moreno, A. (2020). *DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN*.
- Muñoz, F., & Mendoza, C. (2012). *CONCRETO REFORZADO DESDE LA PERSPECTIVA DE LA NORMA ESPAÑOLA PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO* (Vol. 4).
- Muñoz, S., Reyes, B., Marco, J., Santisteban, Y., & Julio, R. (2021). Gestión de residuos de construcción y demolición, para mitigar el impacto Ambiental y preservar nuestros recursos naturales: Una revisión de la literatura. *Ecuadorian Science Journal*, 5(2), 100–106. <https://doi.org/10.46480/esj.5.2.90>
- Online Browsing Platform (OBP). (2006, julio). *ISO 14044:2006(es) Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Requisitos y directrices*.
- Organización Internacional de Normalización. (2000). *Buildings and constructed assets - Service life planning - General principles (Norma ISO No. 15686:2000)*.
<https://www.iso.org/standard/45798.html>
- Palacios-Munoz, B., López-Mesa, B., & Gracia-Villa, L. (2019). Influence of refurbishment and service life of reinforced concrete buildings structures on the estimation of environmental impact. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(11), 1913–1924. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01622-w>
- Pérez, J. (2020). *PATOLOGÍA DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL HORMIGÓN ARMADO*. <https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Publicaciones/public/val/Patologia/trasparencias%20patologia.pdf>

- Ramos Monori, L. (2012). *Proyecto de ampliación y readecuación de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca Edificio de Postgrado*.
- Ross Guberman. (2022). *¿Cómo se reciclan los residuos de construcción y demolición?*
- Sánchez, F., Gómez, N., Lagos, F., & Barbosa, J. (2022). *Método de análisis del estado de conservación y vida útil para edificaciones de hormigón de la época moderna en Colombia*. <https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/1931/1902>
- Sanchez, F., Gomez, N., Lagos, F., & Barbosa, J. (2022). *Método de análisis del estado de conservación y vida útil para edificaciones de hormigón de la época moderna en Colombia*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9993645.pdf>
- Sanei, M., Khodadad, M., Ilgin, H. E., Attia, S., Rizzo, A., & Lau, K. (2025). Vertical extension of buildings: a systematic literature review. En *Architectural Science Review*. Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/00038628.2025.2523261>
- Silva Cascante, A., & Uría Cevallos, G. D. R. (2025). Técnicas de reforzamiento estructural en edificaciones patrimoniales para mamposterías de adobe para una correcta intervención. *Project Design and Management*, 7(1). <https://doi.org/10.35992/pdm.v7i1.4210>
- VAN DEN BERG, M., Hulsbeek, L., & Voordijk, H. (2023). Decision-support for selecting demolition waste management strategies. *Buildings and Cities*, 4(1), 883–901. <https://doi.org/10.5334/bc.318>
- Villao-Vera, R. (2022). Las nuevas técnicas para el desarrollo y evaluaciones de las estructuras de hormigón. *593 Digital Publisher CEIT*, 7(3–1), 176–190. <https://doi.org/10.33386/593dp.2022.3-1.1134>

YANKO, P. (2017). *REFORZAMIENTO Y REPARACIÓN ESTRUCTURAL DE PILARES EN EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO.*

Yugovich, P. (2010). *VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS-DÓNDE ESTAMOS Y HACIA DÓNDE VAMOS? Ingeniero Civil y Topógrafo / Profesor Titular del Área de Construcciones.* <https://www.ing.una.py/pdf/1er-congreso-nacional-ingcivil/32es-ho-32.pdf>

Zambonino, J. L. (2025). *ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA INTERVENCIÓN DEL BLOQUE FIIA D08 DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA ULEAM MEDIANTE EVALUACIÓN DE SU VULNERABILIDAD SÍSMICA.*

7. ANEXOS

7.1 Matriz de Homogenización de Indicadores

A - Diseño estructural

<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Justificación</i>	<i>Cofactor ISO</i>
<i>Antigüedad</i>	0.8	El edificio fue construido en 1986, por lo que tiene 40 años de servicio	0.85
<i>Regularidad estructural</i>	1	Condición neutra debido a que el bloque posee regularidad geométrica, simetría en planta y consta de un solo nivel arquitectónico.	
<i>Configuración resistente</i>	0.8	Edificación concebida en 1986 con normativas antiguas, desprovista del enfoque sismorresistente moderno de "columna fuerte - viga débil".	
<i>Normativa de diseño</i>	0.8	El modelado matemático tridimensional en ETABS determinó que la edificación incumple las derivas máximas permisibles en el eje Y.	

B - Calidad de materiales

<i>Indicador</i>	<i>Valor</i>	<i>Justificación</i>	<i>Cofactor ISO</i>
<i>Resistencia del hormigón</i>	0.8	Los ensayos de esclerometría en columnas exteriores registran un promedio de 19 MPa, valor inferior a los 210 kg/cm ² nominales de diseño.	0.80
<i>Integridad del acero de refuerzo</i>	0.8	La inspección patológica reporta corrosión activa, oxidación libre y pérdida de sección en armaduras expuestas.	
<i>Corrosión</i>	0.8	La pérdida del pH del hormigón por factores ambientales ha neutralizado la capa pasiva que protege las varillas internas.	
<i>Degradación superficial</i>	0.8	Se evidencia delaminación difusa y desprendimiento franco del recubrimiento protector en pórticos de fachada.	

C - Ambiente Interior

Indicador	Valor	Justificación	Cofactor ISO
Ventilación	0.8	La edificación no cuenta con una buena ventilación	1.00
Humedad interior	1	Espacios interiores correspondientes a aulas académicas con niveles estables de humedad	
Aislamiento de elementos internos	1	Las mamposterías y cerramientos perimetrales resguardan con éxito las columnas internas contra el impacto del viento salino.	
Exposiciones agentes agresivos	1.2	Calificación favorable dado que el uso educativo está exento de emanaciones ácidas, gases industriales o sustancias corrosivas.	

D - Ambiente exterior

Indicador	Valor	Justificación	Cofactor ISO
Humedad ambiental	0.8	Clima costero caracterizado por una humedad relativa promedio sostenido superior al 75%, idónea para acelerar la corrosión.	0.85
Exposición marina	0.8	Emplazamiento geográfico crítico dentro del campus de la ULEAM en Manta, a escasos metros de la línea de costa y la brisa marina.	
Ciclos de humedecimiento y secado	0.8	Elementos exteriores sometidos a cambios bruscos de temperatura por radiación solar directa y neblina salina condensada.	
Concentración de CO2 urbano	1	Condición neutra; aunque existe circulación vehicular universitaria, los vientos predominantes disipan el dióxido de carbono.	

E- Calidad de Ejecución Constructiva

Indicador	Valor	Justificación	Cofactor ISO
Calidad de ejecución	1	El relevamiento geométrico demuestra homogeneidad constructiva con secciones estables de columnas de 0.35 x 0.35 m.	1.00
Control constructivo	1	Las mediciones instrumentales demuestran recubrimientos promedio regulares y aceptables para las prácticas de los años 80.	
Acabados estructurales	1	Las columnas internas alcanzaron una resistencia de 21 MPa, probando que la dosificación en obra cumplió exitosamente la meta original.	
Evidencia de defectos	1	No se registran fallas de plomo estructural, desplomes macroscópicos ni presencia de cangrejas críticas originadas en la fundición.	

F - Condiciones de uso

Indicador	Valor	Justificación	Cofactor ISO
Intensidad de ocupación	0.8	Se califica como desfavorable debido a que, al ser un pabellón de aulas universitarias, experimenta picos de alta densidad de ocupación diaria.	0.90
Frecuencia de utilización	0.8	Se asigna este valor porque el edificio opera de forma ininterrumpida en jornadas matutinas, vespertinas y nocturnas, acelerando el desgaste funcional ordinario.	
Cargas de servicio	1	El edificio se mantiene operando como aulas, por lo que las cargas vivas reales no superan los 250 kg/cm ² estipulados por la NEC para uso educativo; no hay sobrecargas por maquinaria pesada o almacenamiento.	
Funcionalidad	1	Los espacios físicos y la distribución de las aulas siguen cumpliendo con su propósito arquitectónico y pedagógico original sin requerir modificaciones drásticas de muros internos.	

G - Mantenimiento

Indicador	Valor	Justificación	Cofactor ISO
Reparaciones previas	1	Se asigna esta nota debido a la ejecución de trabajos recientes en el semestre actual para resanar la superficie de las columnas visibles y la aplicación de capas de pintura en paredes.	0.85
Mantenimiento preventivo	0.8	Se califica como desfavorable ya que las obras se ejecutan de forma reactiva cuando el daño es visible, careciendo de un plan sistemático calendarizado para prevenir la degradación del hormigón.	
Conservación estructural	0.8	A pesar de las mejoras visuales, se reportan paredes rajadas y descuido en áreas críticas como los baños, lo que facilita filtraciones potenciales hacia el hormigón.	
Deterioro acumulado	0.8	Se asigna este valor porque las intervenciones estéticas recientes no revierten el avance histórico del frente de carbonatación ni la corrosión interna acumulada en las armaduras expuestas en décadas pasadas.	

7.2 Algoritmo computacional para la estimación de la Vida Útil (VUE)

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def calcular_vue(vur, factores):
    """
    Calcula la VUE basándose en la VUD y el producto de los cofactores.
    """
    prod_factores = np.prod(list(factores.values()))
    vue = vur * prod_factores
    return vue, prod_factores

# 1. Definición de parámetros del Bloque FIIA D08
VUD = 90 # Vida Útil de Diseño según ISO 15686
cofactores = {
    'A': 0.85, # Diseño estructural
    'B': 0.80, # Calidad de materiales
    'C': 1.00, # Calidad de ejecución
    'D': 1.00, # Ambiente interno
    'E': 0.85, # Ambiente externo
    'F': 0.90, # Condiciones de uso
    'G': 0.85 # Mantenimiento
}

# 2. Cálculo
vue_final, producto = calcular_vue(VUD, cofactores)

print(f"--- RESULTADOS DE VIDA ÚTIL ---")
print(f"Producto de cofactores: {producto:.4f}")
print(f"Vida Útil Estimada (VUE): {vue_final:.2f} años")
print(f"Edad actual del edificio: 40 años")
print(f"Vida Útil Residual: {vue_final - 40:.2f} años")

# 3. Generación de la Curva de Degradación
anos = np.linspace(0, 50, 100)
# Modelo de degradación:  $V(t) = 100 * (1 - (t/VUE))$ 
degradacion = 100 * (1 - (anos / vue_final))
degradacion = np.clip(degradacion, 0, 100) # Que no baje de 0%

plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(anos, degradacion, label='Curva de Aptitud de Servicio',
color='blue', linewidth=2)
plt.axhline(y=50, color='red', linestyle='--', label='Límite Crítico (50%)')
plt.axvline(x=vue_final, color='green', linestyle=':', label=f'VUE = {vue_final:.2f} años')
plt.title('Modelo de Degradación Temporal - Bloque FIIA D08')
plt.xlabel('Años de Servicio')
```


P6	Pulida con abrasiva	Digital Schmidt	41	37	38	41	44	32	36.67	0	0	36	28.4	218.9	21.1
			35	34	40	32									
			32	44	32	34									
E2	Pulida con abrasiva	Digital Schmidt	36	25	30	32	36	25	30.75	0	0	31	21.6	165.5	16.1
			25	34	36	35									
			25	29	27	35									
I6	Pulida con abrasiva	Digital Schmidt	44	44	45	36	49	36	43.67	0	0	44	41.2	304	30.6
			48	43	41	44									
			42	42	49	46									
B4	Pulida con abrasiva	Digital Schmidt	28	42	31	35	47	28	36	0	0	36	28.4	215.8	21.1
			47	37	34	34									
			35	34	37	38									
L7'2	Pulida con abrasiva	Digital Schmidt	27	28	28	25	29	24	27.08	0	0	27	16.2	128.2	12
			28	26	29	28									
			24	28	29	25									
M3	Pulida con abrasiva	Digital Schmidt	36	39	44	42	44	29	35.58	0	0	35	27.5	205.3	20.5
			34	34	32	33									
			34	29	36	34									

PROMEDIO 27.85 212.16 20.72

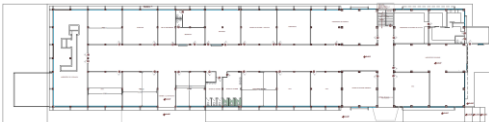
7.4 Formulario de detección visual Zambonino (2025).

CONSEJO TÉCNICO DE
USO Y GESTIÓN DEL SUELO

Anexo 1. FORMULARIO DE DETECCIÓN VISUAL RÁPIDA DE VULNERABILIDAD SÍSMICA PARA EDIFICACIONES

Formulario de recopilación de datos con base al FEMA P-154

100 FOTOGRAFÍA Y ESQUEMA ESTRUCTURAL DEL INMUEBLE

101 DATOS EDIFICACIÓN

102 Nombre de la Edificación:

Bloque FIA D08 de la Carrera de Ingeniería Civil

103 Dirección:

Av. Circunvalación - Vía San Mateo

104 Sitio de referencia:

Facultad de Ingeniería

105 Código Postal

130214

106 Tipo de uso:

Educativo

107 Latitud:

-4.9518°

108 Longitud:

-80.74613°

107A Zona:

107B Norte:

8894807.00 m S

108A Este:

528247.00 m E

109 Ss:

1.008

110 S1:

0.769

111 DATOS DEL PROFESIONAL

112 Nombre del evaluador:

José Luis Zambonino López

113 Cédula del evaluador:

1315901999

115 Fecha:

Junio 11 del 2025

114 Registro SENESCYT:

116 Hora:

11:00 am

117 DATOS CONSTRUCCIÓN

118 Número de Pisos:

1 piso

120 Bajo el Suelo:

0 pisos

121 Año de construcción:

40 años

122 Área de Construcción:

1210 m2

123 Código Año:

124 Año(s) Remodelación:

124 Adiciones:

Ninguna

125 Número de Predio:

126 Clave Catastral:

1-17-43-05-000

200 OCUPACION:

201 Asambleas:

Comercial

Servicio de Emergencia

202 Industria:

Oficina

Educación

203 Utilidad:

Almacén

Residencial #

203A Histórico:

Albergue

Público

204 TIPO DE SUELO:

204A A:

B:

C:

x

D:

E:

F:

DNK:

204B Roca:

204C Duro:

Suelo:

Denso:

Suelo:

Blando:

Suelo:

Pedregoso:

205 RIESGOS GEOLÓGICOS

206 Licuación:

Deslizamiento:

Ruptura de Superficie:

206A SI:

206B NO:

206C DNK:

207 Adyacencia

207A Golpes:

207B Peligro de caída del Edificio Adyacente:

208 Irregularidades:

208A Elevación (Tipo/severidad):

208B Planta (Tipo):

Adiciones:

209 Peligro de Caída Exteriores

209A Chimeneas sin soporte lateral:

209B Reves. Pesado o de chapa de madera pesada:

209C Otros:

209D Apéndices:

209E Parapetos:

210 COMENTARIOS

ESQUEMA ESTRUCTURAL EN PLANTA Y ELEVACIÓN

Dibujos o comentarios en una página aparte

300 TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

301 Porticos de Madera Livianos viviendas multifamiliares de uno a 2 pisos

W1

309 Pórtico Hormigón Armado

C1

302 Porticos de madera Livianos múltiples unidades, multiples pisos para edificios residenciales con áreas en planta en cada piso de más de 300m2

W1A

310 Pórtico H. Armado con muros de corte

C2

303 Porticos de madera para edificios comerciales e industriales con un área de piso mayor a 500m2

W2

311 Pórtico H. Armado con mampostería de relleno sin refuerzo

C3

304 Pórtico Acero Laminado (Portico Resistente a Momento)

S1

312 Losas Prefabricada de Hormigón (Tilt-up)

PC1

305 Pórtico Acero Laminado con diagonales

S2

313 Portico de H. Armado prefabricados

PC2

306 Pórtico Acero Liviano o Conformado en frío

S3

314 Edificios de mampostería reforzada con diafragmas flexibles

RM1

307 Pórtico Acero Laminado con muros estructurales hormigón

S4

315 Edificios de mampostería reforzada con diafragmas rígidos

RM2

308 Pórtico Acero con paredes de mampostería de bloque

S5

316 Edificios de Mampostería no reforzada

URM

317 Vivienda prefabricada

MH

400 PUNTAJES BÁSICOS, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL NIVEL 1, SL1

401 PARÁMETROS CALIFICATIVOS DE LA ESTRUCTURA (TIPO DE EDIFICIO FEMA)

W1

W1A

W2

S1

S2

S3

S4

S5

C1

C2

C3

PC1

PC2

RM1

RM2

URM

MH

402 PUNTAJE BÁSICO

2.1

1.9

1.8

1.5

1.40

1.6

1.4

1.2

1

1.2

0.9

1.1

1

1.1

1.1

0.9

1.1

403 IRREGULARIDADES

403A Irregularidad vertical Grave, VL1

-0.9

-0.9

-0.9

-0.8

-0.7

-0.8

-0.7

-0.7

-0.7

-0.8

-0.6

-0.7

-0.7

-0.7

-0.7

-0.6

NA

403B Irregularidad vertical Moderada, VL1

-0.6

-0.5

-0.5

-0.4

-0.4

-0.5

-0.4

-0.3

-0.4

-0.3

-0.4

-0.4

-0.4

-0.4

-0.4

-0.3

NA

404C Irregularidad en planta, PL1

-0.7

-0.7

-0.6

-0.5

-0.5

-0.6

-0.4

-0.4

-0.4

-0.5

-0.3

-0.5

-0.4

-0.4

-0.4

-0.3

NA

405 CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN

405A Pre-código moderno (construido antes de 2001) o auto construcción

-0.3

-0.3

-0.3

-0.3

-0.2

-0.3

-0.2

-0.1

-0.1

-0.2

0

-0.2

-0.1

-0.2

-0.2

0

0

405B Construido en etapa de transición (desde 2001 pero antes de 2015)

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

405C Post código moderno (construido a partir de 2015)

1.9

1.9

2

1

1.1

1.1

1.5

NA

1.4

1.7

NA

1.5

1.7

1.6

1.6

NA

0.5

406 SUELO

406A Suelo Tipo A o B

0.5

0.5

0.4

0.3

0.3

0.4

0.3

0.2

0.2

0.3

0.1

0.3

0.2

0.3

0.3

0.1

0.1

406B Suelo Tipo D

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

406C Suelo Tipo E (1-3Pisos)

0

-0.2

-0.4

-0.3

-0.2

-0.2

-0.2

-0.1

-0.1

-0.2

0

-0.2

-0.1

-0.2

-0.2

0

-0.1

406D Tipo de suelo E (>3 Pisos)

-0.4

-0.4

-0.4

-0.3

-0.3

NA

-0.3

-0.1

-0.1

-0.3

-0.1

NA

-0.1

-0.2

-0.2

0

NA

407 Puntaje Mínimo

0.7

0.7

0.7

0.5

0.5

0.5

0.5

0.5

0.3

0.3

0.3

0.2

0.2

0.3

0.3

0.2

1

408 PUNTAJE FINAL NIVEL 1,SL1 > SMIN

500 GRADO DE REVISIÓN

501 Exterior:

502 Interior:

503 Planos revisados:

504 Fuente del Tipo de suelo:

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

505 Fuente del Peligro Geológico:

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí

506 Personas de Contacto:

507 Celular:

508 Correo:

600 OTROS RIESGOS:

601 Golpeo Potencial (a menor que SL2=límite, si es conocido)

602 Riesgo de caída de edificios adyacentes más altos

603 Riesgo geológico o tipo de Suelo F

604 Daño significativo/deterioro del sistema estructural

700 ACCIÓN REQUERIDA:

701 Si, tipo de edificación FEMA desconocido u otro edificio

702 Si, puntaje menor que el límite

703 Si, otros peligros presentes

704 NO

705 Si, peligros no estructurales identificados que deben ser evaluados

706 No, existen peligros no estructurales que requieren mitigación, pero no necesita una evaluación detallada

707 No, no se identifican peligros no estructurales

708 DNK= no conoce

800 OBSERVACIONES:

Referencia del formulario: FEMA P 154 (2015). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards – A Handbook. 3th edition. FEMA & NEHRP report, ATC, California

Modificado: Diciembre, 2021

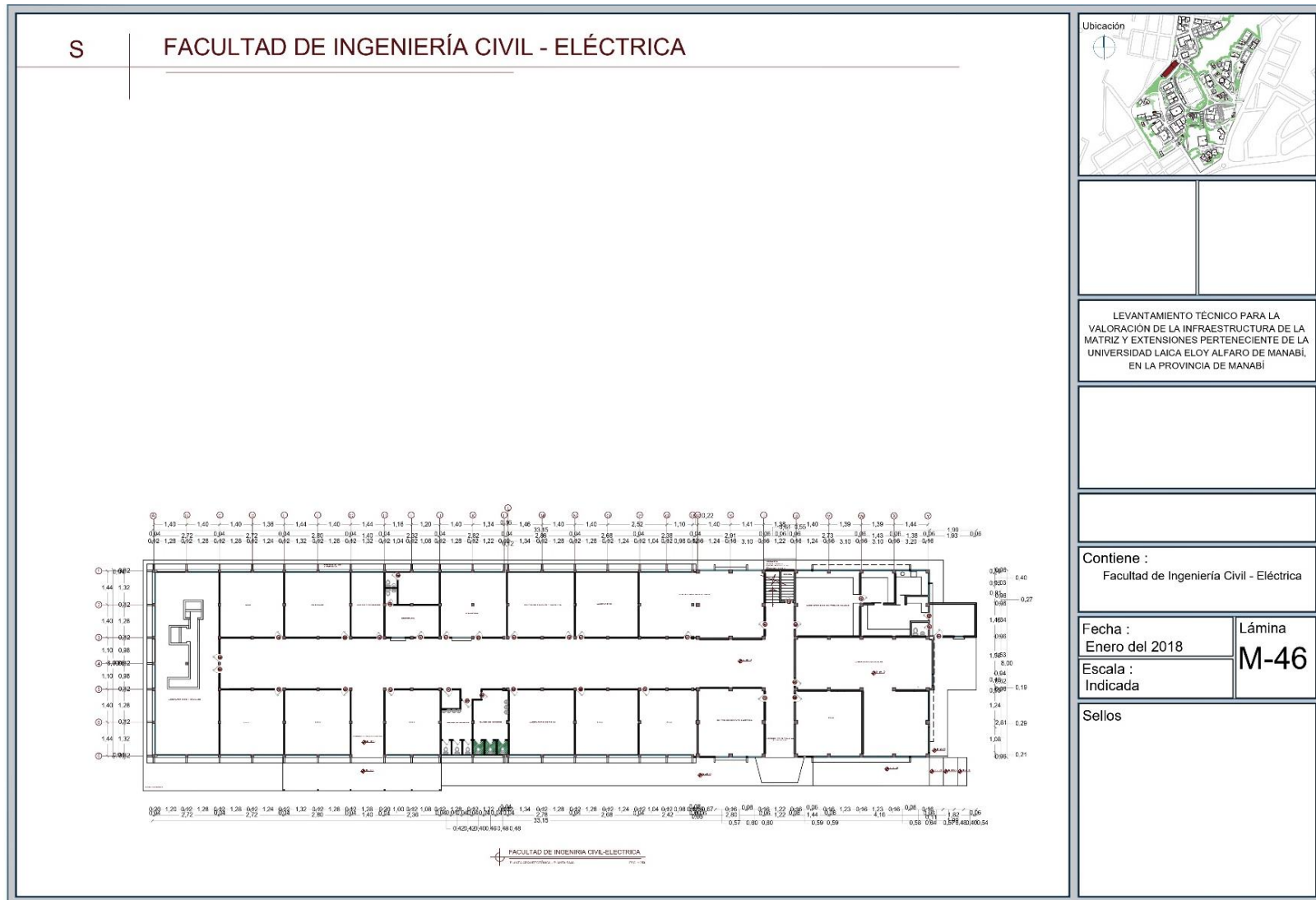
Modificado por: Ing. Paul Olmedo

Revisado por: Ing. Jacobo Moral

Aprobado por: Ing. Jacobo Moral

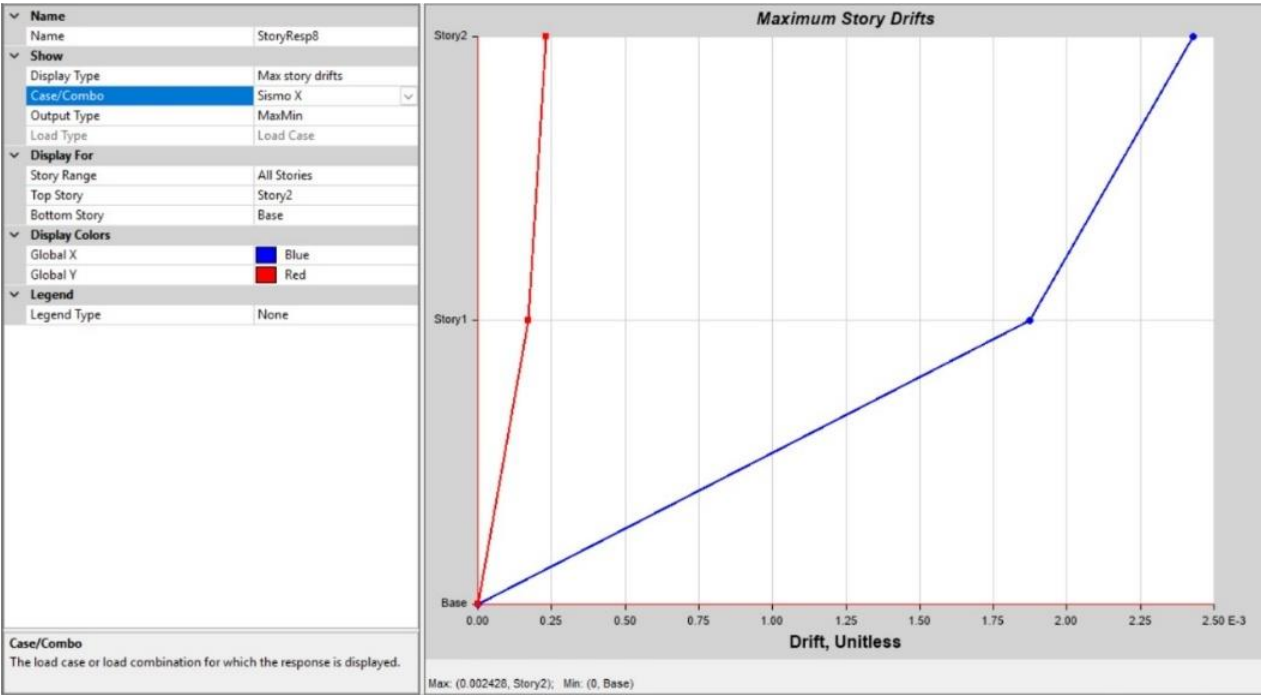
SHEP- MIDUVI

7.5 Plano arquitectónico del edificio principal de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura, bloques de civil y eléctrica



7.6 Derivas con respecto al cortante basal

7.6.1 Derivas con respecto al cortante basal en Sismo X.



7.6.2 Derivas con respecto al cortante basal en Sismo Y.

