



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Modelo de gestión para el diagnóstico de estructuras de
edificios de hormigón armado

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil

AUTOR/A: Escobar Ferreira, Marizelle Elizabeth

Tutor/a: Martí Albiñana, José Vicente

Cotutor/a: Catalá Alís, Joaquín

Cotutor/a externo: GAVILAN MARTINEZ, SERGIO ELIAS

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

Máster Universitario en Planificación y
Gestión en Ingeniería Civil

Modelo de gestión para el diagnóstico de estructuras de edificios de hormigón armado

Marizelle Elizabeth Escobar Ferreira

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos Canales y
Puertos
1-7-2022

Agradecimientos

A mis padres, por brindarme todo su apoyo.

Al Ingeniero Sergio Gavilán, por orientarme durante toda esta etapa y su gran colaboración en cada parte de este trabajo final de máster.

A los profesores Joaquín Catalá y José Vicente Martí por todo el acompañamiento, predisposición y orientación en este periodo.

Resumen

El diagnóstico de estructuras existentes de hormigón armado es una tarea compleja, conlleva una amplia investigación para cada situación dada y es necesario realizar distintos procedimientos para llegar a obtener la mayor cantidad de información de la estructura de interés. El estudio de las estructuras existentes es un campo que continúa en investigación, las normativas relacionadas van siendo actualizadas con el avance de estos estudios.

El presente trabajo tiene por objeto la elaboración de un modelo de gestión para el diagnóstico de estructuras de edificios de hormigón armado, para su desarrollo, como primer paso, fueron analizados modelos existentes en distintos países relacionados a la evaluación y diagnóstico de estructuras.

Como segundo paso, fue realizada una revisión de las distintas normativas vigentes relacionadas a la inspección, análisis, evaluación y diagnóstico de las estructuras de hormigón. Definiendo así los procedimientos que se requieren para incorporarlos al modelo de gestión.

Por último, se procedió a la validación del modelo mediante el método de Delphi, en el cuál participaron expertos con amplia experiencia en el campo de las estructuras de hormigón, quienes han brindado un aporte valioso para mejorar el modelo inicial y finalmente obtener el modelo final para el diagnóstico de estructuras.

El resultado final se basa en un conjunto de herramientas compuesto por fichas para mejorar la recopilación de información y la gestión de las actividades que se requieren en cada fase del proceso de diagnóstico. Además, se presentan los diagramas de procedimientos donde se identifican las fichas mencionadas y permiten un seguimiento ordenado de las tareas que involucren el trabajo de diagnóstico.

Palabras clave: Gestión del diagnóstico estructural, estructuras existentes, patologías en el hormigón.

Resum

El diagnòstic d'estructures existents de formigó armat és una tasca complexa, comporta una àmplia investigació per a cada situació donada i és necessari realitzar diferents procediments per a arribar a obtenir la major quantitat d'informació de l'estructura d'interès. L'estudi de les estructures existents és un camp que continua en investigació, les normatives relacionades van sent actualitzades amb l'avanç d'aquests estudis.

El present treball té per objecte l'elaboració d'un model de gestió per al diagnòstic d'estructures existents de formigó armat, per al seu desenvolupament, com a primer pas, van ser analitzats models existents en diferents països relacionats a l'avaluació i diagnòstic d'estructures.

Com a segon pas, va ser realitzada una revisió de les diferents normatives vigents relacionades a la inspecció, anàlisi, avaluació i diagnòstic de les estructures de formigó. Definint així els procediments que es requereixen per a incorporar-los al model de gestió.

Finalment, es va procedir a la validació del model mitjançant el mètode de Delphi, en el qual van participar experts amb àmplia experiència en el camp de les estructures de formigó, els qui han brindat una aportació valuosa per a millorar el model inicial i finalment obtenir el model final per al diagnòstic d'estructures.

El resultat final es basa en un conjunt d'eines compost per fitxes per a millorar la recopilació d'informació i la gestió de les activitats que es requereixen en cada fase del procés de diagnòstic. A més, es presenten els diagrames de procediments on s'identifiquen les fitxes esmentades i permeten un seguiment ordenat de les tasques que involucren el treball de diagnòstic.

Paraules clau: Gestió del diagnòstic estructural, estructures existents, patologies en el formigó.

Abstract

The diagnosis of existing reinforced concrete structures is a complex task, it involves extensive research for each given situation and it is necessary to perform different procedures in order to obtain as much information as possible about the structure of interest. The study of existing structures is a field that continues to be investigated, and the related regulations are being updated with the progress of these studies.

The purpose of this work is the elaboration of a management model for the diagnosis of existing reinforced concrete structures. For its development, as a first step, existing models in different countries related to the evaluation and diagnosis of structures were analyzed.

As a second step, a review of the different regulations in force related to the inspection, analysis, evaluation and diagnosis of concrete structures was carried out. Thus defining the procedures required to incorporate them into the management model.

Finally, the model was validated using the Delphi method, with the participation of experts with extensive experience in the field of concrete structures, who have provided valuable input to improve the initial model and finally obtain the final model for the diagnosis of structures.

The final result is based on a set of tools composed of cards to improve the collection of information and the management of the activities required in each phase of the diagnostic process. In addition, procedure diagrams are presented where the mentioned cards are identified and allow an orderly follow-up of the tasks involved in the diagnostic work.

Keywords: Structural diagnosis management, existing structures, concrete pathologies.

Resumen ejecutivo

Título del trabajo de fin de master: Modelo de gestión para el diagnóstico de estructuras de edificios de hormigón armado	
Autor: Marizelle Elizabeth Escobar Ferreira	
1. Planteamiento del problema:	<p>En Paraguay existen muchas edificaciones que presentan deterioros en su estructura y a lo largo de los años se genera mayor demanda para el análisis de las mismas. Es importante por ello, contar con un modelo en el cual se optimice el proceso de evaluación, considerando aquellos factores que influyen en el origen de los deterioros y realizar un buen diagnóstico estructural.</p> <p>No existen procedimientos estandarizados para lograr encarar estas situaciones y existen ocasiones en donde no es posible apreciar las posibles causas del problema.</p> <p>Se busca por tanto la creación de un modelo que permita la gestión del diagnóstico de estructuras existentes de hormigón armado.</p>
2. Objetivos:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar la búsqueda de modelos existentes relacionados a la gestión del diagnóstico estructural 2. Analizar y comparar el contenido presentado en los modelos encontrados 3. Creación de la estructura inicial del modelo de gestión 4. Complementar el modelo con las normativas actualizadas relacionadas al diagnóstico estructural 5. Validación del modelo con especialistas en cuanto a estructuras de hormigón.
3. Estructura organizativa:	<p>Capítulo 1: Se presenta la introducción del trabajo, la justificación ante la problemática existente, las hipótesis relacionadas y las fases de la metodología para la investigación del trabajo.</p> <p>Capítulo 2: Se presentan los conceptos principales relacionados al diagnóstico de estructuras, las patologías que presentan y posibles fallos originados por diversas causas.</p> <p>Capítulo 3: Se presenta el estado del arte, incluyendo los modelos existentes relacionados al diagnóstico estructural y las normativas actualizadas para complementar al modelo.</p> <p>Capítulo 4: Se propone el modelo inicial, con tres fases principales y las herramientas para mejorar la gestión del diagnóstico de las estructuras.</p> <p>Capítulo 5: Se realiza la validación del modelo inicial mediante un panel de expertos con amplia experiencia en cuanto a las estructuras de hormigón.</p> <p>Capítulo 6: Se presenta el modelo final para el diagnóstico de estructuras existentes de hormigón armado, considerando el aporte del panel de expertos para mejorar el modelo inicial.</p> <p>Capítulo 7: Se presenta un ejemplo de aplicación a un edificio existente, utilizando las fichas creadas y siguiendo los procedimientos propuestos en el modelo.</p> <p>Capítulo 8: Se presentan las conclusiones del trabajo de investigación realizado, los resultados encontrados con la revisión bibliográfica y las recomendaciones del panel de expertos.</p>

<p>4. Método</p>	<p>Se procede inicialmente a la revisión de las guías existentes para crear la estructura inicial del modelo base, luego se analizan las normativas existentes relacionadas al diagnóstico estructural para complementar el modelo y finalmente se presenta ante un panel de expertos para mejorar el modelo inicial con sus recomendaciones.</p>
<p>5. Contribuciones:</p>	<p>Se han identificado normativas actualizadas relacionadas al diagnóstico estructural. Se ha generado un modelo que permite mejorar ciertos aspectos en cuanto al diagnóstico de estructuras existentes de hormigón armado, tales como la gestión de la recopilación de la información inicial, las actividades previas para el inicio de los trabajos de evaluación y el planteamiento de procedimientos para un análisis estructural.</p>
<p>6. Recomendaciones</p>	<p>Aplicar el modelo a diferentes situaciones en donde se requiera una evaluación para estructuras existentes de hormigón armado.</p>
<p>7. Limitaciones</p>	<p>El modelo se enfoca en estructuras de edificios de hormigón armado y la validación fue realizada mediante expertos que ejercen su profesión en Paraguay. Además, no se contemplan las medidas de actuación para la reparación, refuerzo o rehabilitación de la estructura en estudio.</p>

Terminología

Aptitud de servicio: Es la aptitud de asegurar el funcionamiento de la estructura, el confort de los usuarios y de mantener el adecuado aspecto visual.

Capacidad portante: Es la aptitud con que cuenta una estructura para asegurar, con la fiabilidad requerida, la estabilidad del conjunto y la resistencia necesaria, durante un tiempo determinado, definido como periodo de servicio.

Capacidad resistente: es aquella que tiene el hormigón para soportar las cargas que sean aplicadas sin producirse el fallo.

Daño: pérdida de las cualidades que pueden afectar a la estructura, a sus elementos o a sus materiales.

Deterioro: modificación del material que conlleva a la reducción del valor de sus características físico-químicas desde el punto de vista de su conservación

Diagnóstico: estudio previo a una intervención que contempla la identificación de los daños y sus causas, la evaluación de la funcionalidad y seguridad de la estructura y la estimación de la evolución de daños si fuese el caso.

Durabilidad de una estructura: es la capacidad de la estructura para cumplir con los requisitos de comportamiento en servicio, resistencia y estabilidad durante la vida útil de proyecto, sin pérdidas significativas de utilidad o un mantenimiento excesivo no previsto

Ensayos no destructivos: son aquellos que se realizan sin afectar al hormigón. Un ejemplo de estos ensayos son la medición de la velocidad de pulso ultrasónico.

Ensayos destructivos: Son aquellos en donde se toman muestras de una cierta zona del hormigón, pudiendo ser mediante la extracción de testigos para posteriormente realizar el ensayo a compresión.

Ensayos de evaluación: Son aquellos destinados a proporcionar información sobre un cierto tipo de hormigón colocado en una estructura.

Seguridad estructural: tiene como objeto asegurar que la estructura tenga un comportamiento adecuado frente a las acciones e influencias previsibles a las que pueda estar sometida durante su construcción y periodo de uso previsto.

Ubicación de ensayo: Área definida para la toma de mediciones y estimación de un solo resultado de ensayo que será utilizado en la evaluación de la resistencia a compresión in situ.

Simbología y abreviaciones

- E_d : el valor de cálculo de los efectos de las acciones.
- R_d : el valor de cálculo de la resistencia correspondiente.
- F_k : el valor característico de la acción
- F_{rep} : valor representativo de la acción
- γ_f : coeficiente parcial de seguridad para la acción
- Ψ Puede ser 1,00 o Ψ_0 , Ψ_1 o Ψ_2
- Ψ_0 : coeficiente de combinación del valor de una acción variable.
- Ψ_1 : valor frecuente de una acción variable.
- Ψ_2 : valor cuasi-permanente de una acción variable.
- A_d : valor de cálculo para datos geométricos
- γ_{sd} : coeficiente parcial de seguridad que tiene en cuenta incertidumbres
- R_n : Capacidad nominal resistente previa al daño
- R_{cn} : Capacidad nominal resistente actual
- K_n : coeficiente de la tabla 3.13
- M : coeficiente de la tabla 3.14
- S : estimación de la desviación estándar de la resistencia a compresión in situ
- S_c : desviación estándar residual, medida de la dispersión de datos de resistencia en testigos
- S_e : desviación estándar considerando todos los valores de resistencia estimados
- $f_{ck, is}$: es la resistencia característica a compresión in situ.
- $f_{c,m(m)is}$: Resistencia media a compresión in situ para el conjunto "m" de ubicaciones de ensayos
- $f_{c,is,lowest}$: menor valor para el conjunto de valores obtenidos de f_{ci}
- $f_{c,is}$: resistencia a compresión de un testigo para una ubicación de ensayo
- $f_{c,is,reg}$: valor de ensayo indirecto convertido a la resistencia a compresión luego de la correlación.
- n : número de pares de resultados de ensayos utilizados en la correlación
- m : número de valores de resistencia estimados
- $f_{c,is,min}$ es la resistencia estimada más baja o la menor de las resistencias medidas sobre testigos.
- GyA: Empresa de consultoría Gavilán y Asociados.

Índice de contenido

1	Introducción.....	18
1.1	Planteamiento del problema	18
1.2	Justificación.....	18
1.3	Planteamiento de la investigación.....	19
1.3.1	Objeto	19
1.3.2	Objetivo general.....	19
1.3.3	Objetivos específicos	19
1.3.4	Objetivos propuestos para líneas futuras.....	20
1.3.5	Hipótesis.....	20
1.4	Metodología de la investigación	20
1.4.1	Fase inicial.....	20
1.4.2	Fase A - Análisis comparativo de los modelos obtenidos	20
1.4.3	Fase B- Estructura del modelo	21
1.4.4	Fase C – Desarrollo del modelo	21
1.4.5	Fase D- Validación del modelo.....	21
2	Marco teórico.....	22
2.1	Patologías de una estructura de hormigón	22
2.2	Agentes que pueden afectar al hormigón	22
2.2.1	Ataques biológicos	23
2.2.2	Agresión medio ambiental.....	23
2.2.3	Ataques químicos al hormigón	23
2.2.4	Ataques químicos al acero	23
2.2.5	Agentes físicos	24
2.2.6	Ataques por fuego.....	24
2.2.7	La carbonatación del hormigón	24
2.3	Etapas en las que pueden darse los daños en la estructura.....	24
2.3.1	Fallos en el proyecto	24
2.3.2	Fallos por materiales.....	25
2.3.3	Fallos en la etapa de ejecución	25
2.3.4	Fallos en la etapa de uso y mantenimiento	25
2.4	El diagnóstico de estructuras de hormigón.	26
2.5	Evaluación de una estructura de hormigón.....	26

3	Estado del arte	27
3.1	Revisión bibliográfica	27
3.2	Normativas de referencia	30
3.2.1	CTE DBSE Anejo D. Evaluación estructural de edificios existentes	30
3.2.2	Código estructural – Real decreto 470/2021	35
3.2.3	(ACI 562-19) Requisitos del código para evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras de concreto existentes	38
3.2.4	ACI 207.3R-18 Informe de prácticas para la evaluación del concreto en estructuras masivas existentes para condiciones de servicio	48
3.2.5	ACI 224R. Control de la fisuración en estructuras de hormigón armado:	50
3.2.6	UNE EN 13791 2020	50
3.2.7	Monografía m-33. Evaluación de estructuras de hormigón armado	60
4	Propuesta del modelo de gestión para el diagnóstico de estructuras	64
4.1	Fase inicial	64
4.1.1	Recopilación de la información	65
4.1.2	Análisis preliminar de la información	65
4.1.3	Inspección previa	65
4.1.4	Otros aspectos preliminares	66
4.1.5	Diagnóstico previo	66
4.1.6	Informe preliminar	67
4.1.7	Propuesta de evaluación	67
4.1.8	Herramientas de gestión propuestas en la fase inicial	68
4.2	Fase de estudio	74
4.2.1	Relevamiento geométrico	75
4.2.2	La inspección detallada de daños	75
4.2.3	Ensayos in situ	76
4.2.4	Verificación estructural	78
4.2.5	Análisis de las condiciones de seguridad	79
4.2.6	Análisis de las condiciones de durabilidad	80
4.2.7	Herramientas de gestión propuestas en la fase de estudio	81
4.3	Fase de diagnóstico	84
4.3.1	Análisis de resultados obtenidos	84
4.3.2	Redacción del informe final	85
5	Validación del modelo.	86
5.1	Método Delphi	86

5.2	Variables consideradas.....	86
5.3	Encuesta.....	87
5.4	Selección de expertos.....	90
5.5	Procedimiento para la obtención de la información.....	91
5.6	Análisis de la información obtenida.....	91
6	Modelo final obtenido.....	95
6.1	FASE INICIAL.....	95
6.1.1	Recopilación de la información.....	96
6.1.2	Análisis preliminar de la información.....	96
6.1.3	Inspección previa.....	96
6.1.4	Otros aspectos preliminares.....	97
6.1.5	Diagnóstico previo.....	97
6.1.6	Informe preliminar.....	98
6.1.7	Propuesta de evaluación.....	98
6.1.8	Herramientas de gestión propuestas en la fase inicial.....	99
6.2	Fase de estudio.....	105
6.2.1	Relevamiento geométrico.....	106
6.2.2	La inspección detallada de daños.....	107
6.2.3	Ensayos in situ.....	107
6.2.4	Verificación estructural.....	109
6.2.5	Análisis de las condiciones de seguridad.....	110
6.2.6	Análisis de las condiciones de durabilidad.....	111
6.2.7	Herramientas de gestión propuestas en la fase de estudio.....	112
6.3	Fase de diagnóstico.....	115
6.3.1	Análisis de resultados obtenidos.....	115
6.3.2	Redacción del informe final.....	116
6.4	Propuesta para líneas futuras de investigación.....	117
7	Ejemplo de aplicación.....	117
7.1	Descripción:.....	117
7.2	Fase inicial.....	119
7.2.1	Recopilación de información.....	119
7.2.2	Cálculo preliminar:.....	122
7.2.3	Diagnóstico previo:.....	122
7.2.4	Informe preliminar:.....	122
7.2.5	Propuesta de evaluación presentada:.....	122

7.3	Fase de estudio:	123
7.3.1	Relevamiento geométrico:.....	123
7.3.2	Relevamiento de daños	124
7.3.3	En cuanto a las regiones y ubicaciones de ensayo:	129
7.3.4	Verificación estructural.....	137
7.3.5	Análisis de las condiciones de seguridad	137
7.3.6	Condiciones de durabilidad.....	154
7.4	Diagnóstico estructural:.....	155
7.4.1	Seguridad de la estructura:.....	155
7.4.2	Aptitud de servicio:	155
7.4.3	Durabilidad de la estructura:	155
8	Conclusiones	156
9	Referencias.....	157

Índice de figuras

- Figura 3.1. Diagrama de flujo para la estimación de la resistencia característica a la compresión en regiones de ensayo y ubicaciones específicas.
- Figura 3.2. Diagrama de flujo para la evaluación de la clase de resistencia del hormigón para casos de duda
- Figura 3.3. Esquema de ensayo de potencial de media celda.
- Figura 4.1. Esquema de procesos de fase inicial del modelo propuesto.
- Figura 4.2. Propuesta de procedimientos a seguir ante la aprobación de la propuesta de evaluación.
- Figura 4.3. Propuesta de actividades a realzar en la fase de estudio.
- Figura 6.1. Esquema de procesos de fase inicial del modelo propuesto.
- Figura 6.2. Propuesta de procedimientos a seguir ante la aprobación de la propuesta de evaluación.
- Figura 6.3. Propuesta de actividades a realzar en la fase de estudio.
- Figura 7.1. Encofrado Subsuelo.
- Figura 7.2. Encofrado planta baja
- Figura 7.3. Encofrado planta tipo
- Figura 7.4. Daños en techo de subsuelo.
- Figura 7.5. Daños en techo de planta baja.
- Figura 7.6. Daños en techo de primer piso.
- Figura 7.7. Daños en techo de segundo piso.
- Figura 7.8. Daños en techo de tercer piso.
- Figura 7.9. Daños en techo de cuarto piso
- Figura 7.10. Ensayos en techo de subsuelo
- Figura 7.11. Ensayos en techo de planta baja.
- Figura 7.12. Ensayos en techo de primer piso.
- Figura 7.13. Ensayos en techo de segundo piso
- Figura 7.14. Ensayos en techo de tercer piso
- Figura 7.15. Ensayos en cuarto piso

Índice de tablas

Tabla 3.1.	Resumen de documentos encontrados relacionados a modelos de gestión para diagnosticar estructuras.
Tabla 3.2.	Resumen de contenidos de guías encontradas.
Tabla 3.3.	Normas y trabajos de referencia para los documentos encontrados.
Tabla 3.4.	Niveles de análisis estructural
Tabla 3.5.	Valores de ϕ para el diseño de rehabilitación
Tabla 3.6.	Valores de ϕ para evaluaciones
Tabla 3.7.	Propiedades predeterminadas de resistencias para barras de acero
Tabla 3.8.	Propiedades predeterminadas de resistencias para barras de acero para varias especificaciones y periodos
Tabla 3.9.	Valores de resistencia a compresión por defecto del hormigón en MPa.
Tabla 3.10.	Valores de ancho de fisuras razonables para hormigón bajo cargas de servicio.
Tabla 3.11.	Ubicación de ensayos relacionadas a tipos de ensayos.
Tabla 3.12.	Número mínimo de valores de resistencia en base al diámetro del testigo.
Tabla 3.13.	Valos de k_n para las formulas de f_{ck}
Tabla 3.14.	Valos de M para las formulas de f_{ck}
Tabla 3.15.	Valores mínimos de ubicaciones de ensayos en base al número de regiones.
Tabla 3.16.	Cantidades mínimas de ubicaciones para ensayos indirectos.
Tabla 3.17.	Número mínimo de ubicaciones de ensayos para la extracción de testigos.
Tabla 3.18.	Riesgo de corrosión en función al porcentaje de cloruros.
Tabla 3.19.	Criterio de a ASTM para la interpretación del potencial de media celda.
Tabla 3.20.	Valores de resistividad eléctrica asociada a la agresividad del hormigón.
Tabla 4.1	Ficha 01. Propuesta en la fase inicial del modelo.
Tabla 4.2	Ficha 02. Propuesta en la fase de estudio del modelo.
Tabla 4.3	Ficha 03. Propuesta en la fase inicial del modelo.
Tabla 4.4	Ficha 4. Propuesta en la fase de estudio del modelo.
Tabla 4.5	Ficha 5 Daños con peligro de colapso.
Tabla 4.6	Ficha 06. Propuesta en la fase inicial del modelo.
Tabla 4.7	Resumen de valores mínimos de resultados para ensayos en hormigón.
Tabla 4.8	Resultados que se presentan con el ensayo de pachometría.

Tabla 4.9	Resumen de resultados para verificaciones de fisuras.
Tabla 4.10	Resultados que pueden obtenerse del ensayo de carbonatación.
Tabla 4.11	Probabilidad de corrosión para valores obtenidos del ensayo de potencial de corrosión.
Tabla 4.12	Agresividad del hormigón para valores obtenidos del ensayo de resistividad.
Tabla 4.13	Resumen de verificaciones para fisuras catalogadas como daños menores.
Tabla 4.14	Ficha 07. Propuesta en la fase estudio del modelo.
Tabla 4.15	Ficha 08. Propuesta en la fase estudio del modelo.
Tabla 4.16	Ficha 09. Resumen de normativas y ensayos relacionados descriptos.
Tabla 5.1.	Encuesta de validación de modelo.
Tabla 5.2.	Encuesta de validación de modelo. (Continuación)
Tabla 5.3.	Encuesta de validación de modelo. (Continuación)
Tabla 5.4.	Resumen de profesionales miembros del panel de expertos para la validación del modelo.
Tabla 5.5.	Resumen de profesionales miembros del panel de expertos para la validación del modelo. (Continuación)
Tabla 5.6.	Resultados obtenidos de la primera encuesta.
Tabla 5.7.	Resultados obtenidos de la primera encuesta (Continuación).
Tabla 5.8.	Resultados obtenidos de la segunda encuesta.
Tabla 6.1	Ficha 01. Propuesta en la fase inicial del modelo.
Tabla 6.2	Ficha 02. Propuesta en la fase de estudio del modelo.
Tabla 6.3	Ficha 03. Propuesta en la fase inicial del modelo.
Tabla 6.4	Ficha 4. Propuesta en la fase de estudio del modelo.
Tabla 6.5	Ficha 5 Daños con peligro de colapso.
Tabla 6.6	Ficha 06. Propuesta en la fase inicial del modelo.
Tabla 6.7	Resumen de valores mínimos de resultados para ensayos en hormigón.
Tabla 6.8	Resultados que se presentan con el ensayo de pachometría.
Tabla 6.9	Resumen de resultados para verificaciones de fisuras.
Tabla 6.10	Resultados que pueden obtenerse del ensayo de carbonatación.
Tabla 6.11	Probabilidad de corrosión para valores obtenidos del ensayo de potencial de corrosión.
Tabla 6.12	Agresividad del hormigón para valores obtenidos del ensayo de resistividad.
Tabla 6.13	Resumen de verificaciones para fisuras catalogadas como daños menores.

Tabla 6.14	Ficha 07. Propuesta en la fase estudio del modelo.
Tabla 6.15	Ficha 07. Propuesta en la fase estudio del modelo (Continuación).
Tabla 6.15	Ficha 07. Propuesta en la fase estudio del modelo (Continuación).
Tabla 6.17	Ficha 09. Resumen de normativas y ensayos relacionados descriptos.
Tabla 7.1	Ficha 01. Ejemplo de aplicación.
Tabla 7.2	Ficha 03. Ejemplo de aplicación.
Tabla 7.3	Ficha 04. Ejemplo de aplicación.
Tabla 7.4	Ficha 04. Ejemplo de aplicación.
Tabla 7.5	Ficha 06. Ejemplo de aplicación.
Tabla 7.6	Ficha 07. Identificación de daños en la estructura.
Tabla 7.7	Ficha 07. Identificación de daños en la estructura (Continuación).
Tabla 7.8	Referencia de daños.
Tabla 7.9	Referencia de ensayos realizados.
Tabla 7.10	Número de ensayos realizados en la estructura.
Tabla 7.11	Resumen de número de ensayos realizados.
Tabla 7.12	Cantidad mínima de ubicaciones de ensayo por región.
Tabla 7.13	Resultados de ensayos realizados y aplicación de la fórmula de correlación.
Tabla 7.14	Valores de la resistencia estimada del hormigón.
Tabla 7.15	Resultados de ensayos de pachometría en pilares.
Tabla 7.16	Resultados de ensayos de pachometría en vigas.
Tabla 7.17	Resultados de ensayos de pachometría en losas.
Tabla 7.18	Resultados de ensayos de pachometría en losas (continuación).
Tabla 7.19	Valores de profundidad y espesor de fisuras verificadas.
Tabla 7.20	Ficha 08. Clasificación de daños encontrados.
Tabla 7.21	Resumen de resultados de pachometría.
Tabla 7.22	Resumen de resultados de resistencia estimada.
Tabla 7.23	Resumen de verificaciones de fisuras realizadas.
Tabla 7.24	Cálculo de la variación de la capacidad resistente de la estructura en pilares.
Tabla 7.25	Cálculo de la variación de la capacidad resistente de la estructura en vigas.
Tabla 7.26	Cálculo de la variación de la capacidad resistente de la estructura en losas.

Tabla 7.27	Cálculo de la variación de la capacidad resistente de la estructura en losas. (Continuación).
Tabla 7.28	Valores de los coeficientes de seguridad para el cálculo.
Tabla 7.29	Comprobación de EL.U. en pilares.
Tabla 7.30	Estimación de cargas para comprobación de E.L.U en losas.
Tabla 7.31	Comprobación de EL.U. en losas.
Tabla 7.32	Estimación de cargas para comprobación de E.L.U. en vigas.
Tabla 7.33	Comprobación de EL.U. en vigas.
Tabla 7.34	Resultados de ensayos de carbonatación.

1 Introducción

1.1 Planteamiento del problema

Un paso fundamental previo a la ejecución de trabajos de rehabilitación, reparaciones o refuerzos de las estructuras de hormigón es la evaluación del estado en que se encuentra la misma. Cuando se presentan en las edificaciones indicios de deterioros, por más que sean mínimamente apreciables, debe realizarse una investigación para conocer su naturaleza, alcance y causas. Del resultado de esta investigación puede obtenerse información acerca del grado de necesidad de realizar una intervención.

El conjunto de los procesos mencionados anteriormente hace referencia al diagnóstico estructural. Este análisis debe realizarse rigurosamente para que sea posible la efectividad de la intervención a ser ejecutada.

En un proceso de evaluación estructural, son varias las consideraciones que se deben realizar para la selección de trabajos acordes a la situación presentada en la estructura y están ligadas a diversos factores, entre ellos se presenta el tipo de estructura, edad, patologías existentes, antecedentes asociados al problema y muchos otros. Una buena recopilación la información correspondiente a estos factores permiten la adecuada elección de trabajos para el proceso de evaluación.

Es importante por ello, contar con un modelo en el cual se optimice el proceso de evaluación, considerando todos los factores que podrían tener influencia en el origen de las patologías presentadas, y provea de un buen diagnóstico estructural.

En Paraguay existen muchas edificaciones que presentan deterioros en su estructura y a lo largo de los años la sociedad genera mayor demanda en cuanto a los trabajos relacionados al análisis de las mismas.

Como existen varios factores que pueden afectar a las estructuras y a la vez las patologías que se presentan pueden estar asociadas no solamente a una de estas causas, es necesario prestar especial atención al momento de considerar todos los aspectos relacionados para realizar un análisis riguroso.

Sin embargo, no existe un procedimiento estandarizado para lograr encarar las distintas situaciones que se presentan, por lo que en ocasiones pueden existir problemas poco comunes en donde no es fácil apreciar el conjunto de trabajos adecuado para su análisis.

Actualmente existen guías para la evaluación de estructuras que han sido desarrolladas a lo largo de los años, en el cual se incluyen procedimientos relacionados a la inspección de patologías que se presentan, ejecución de ensayos destructivos y no destructivos, cálculos estructurales y recopilación de información sobre varios aspectos de la estructura.

Se busca por tanto el análisis de estas guías existentes para lograr complementar o mejorar su contenido, obteniendo un nuevo modelo con el cuál exista una mayor eficacia al momento de realizar la gestión de las evaluaciones de estructuras de hormigón.

1.2 Justificación

Las empresas consultoras en Paraguay, no cuentan con un modelo para la gestión del diagnóstico de estructuras de edificaciones. Esta situación se ve acrecentada, por la falta de una norma propia que haga referencia al diseño y construcción de estructuras de hormigón armado, esta realidad obliga a los profesionales a la utilización de normativas americanas, españolas o brasileras, según sea la familiaridad que el mismo posea con ellas.

Los modelos existentes presentan en su contenido procedimientos distintos para la evaluación, con los cuales sería posible, tras un análisis riguroso, seleccionar los métodos adecuados para aplicarlos a las estructuras en Paraguay y complementar el contenido con otras herramientas que mejoren la gestión al momento de la evaluación.

Con el aumento de la demanda relacionada al análisis de estructuras que se presenta cada año resultaría conveniente la utilización de este modelo para lograr una mayor eficacia en los trabajos de evaluación de estructuras de hormigón.

El diagnóstico de las estructuras es un campo que continúa en estudio, existen diversos factores que podrían influir en el comportamiento estructural y es necesario realizar una exhaustiva investigación para llegar a las causas correctas de las anomalías que se presentan en el hormigón.

Es complejo abarcar todos los detalles que pudieran afectar al comportamiento del hormigón, debido a que cada caso tiene ciertas particularidades, por lo que no existen actualmente modelos específicos que permitan un seguimiento exacto de procedimientos a realizar para la evaluación de las estructuras.

En las distintas bibliografías relacionadas al estudio de los problemas estructurales, se menciona la importancia de la experiencia del especialista, principalmente por que deberá guiar las actividades que la evaluación requiera, y analizar los aspectos que deben considerarse para obtener la mayor información posible de la situación dada.

1.3 Planteamiento de la investigación

1.3.1 Objeto

El presente trabajo tiene por objeto la elaboración de un modelo el cuál permita realizar el diagnóstico de estructuras de edificios.

1.3.2 Objetivo general

Mejora de modelos existentes relacionados a la evaluación de estructuras de hormigón.

1.3.3 Objetivos específicos

Fase 0-Búsqueda relacionada a modelos de gestión existentes.

Objetivo 0: Recopilar modelos de gestión relacionadas a la evaluación estructural que hayan sido elaborados en otros países.

Fase A - Análisis comparativo de los modelos obtenidos.

Objetivo A.1: Revisión del contenido de cada modelo encontrado.

Objetivo A.2: Identificación de similitudes y variaciones referentes a cada a apartado principal elaborado en el paso anterior.

Fase B- Estructura del modelo.

Objetivo B.1: Elaboración de la estructura del modelo nuevo basado en el análisis anterior.

Fase C – Desarrollo del modelo.

Objetivo C: Incorporar información como herramientas que se utilizan para el diagnóstico de estructuras, procedimientos y especificaciones relacionadas, mediante la investigación de normativas relacionadas.

Fase D-Validación del modelo.

Objetivo D.1: Validación del modelo con especialistas en evaluación de las estructuras de hormigón.

Objetivo D.2: Recopilar información obtenida del retorno de los expertos a quienes se haya consultado.

Objetivo D.3.: Complementar el modelo anterior, realizar las modificaciones necesarias, obtener el modelo final mejorado para el diagnóstico de estructuras de edificios de hormigón.

1.3.4 Objetivos propuestos para líneas futuras

Fase E: Aplicación del modelo a un caso real.

Fase F: Modelo de gestión para el diagnóstico de estructuras metálicas.

1.3.5 Hipótesis

En Paraguay no existe un modelo de gestión para el diagnóstico de estructuras de edificaciones.

✓ La demanda en cuanto a la evaluación de estructuras de hormigón en Paraguay crece cada año.

✓ Existen varios modelos de evaluación de estructuras desarrollado a lo largo de los años en distintos países.

✓ Existen artículos y otros trabajos relacionados enfocados al diagnóstico de estructuras que han sido publicados en distintos países.

✓ En distintos países existe un gran número de empresas que se dedican al diagnóstico estructural.

✓ Existe una gran variedad de materiales bibliográficos relacionados a las patologías del hormigón que se encuentran publicados y disponibles para su consulta.

1.4 Metodología de la investigación

1.4.1 Fase inicial

Objetivo 0: Recopilar modelos de gestión relacionadas a la evaluación estructural que hayan sido elaborados en otros países.

Pueden realizarse búsquedas de estos modelos en las publicaciones realizadas en sitios de almacenamientos digitales de distintas universidades:

<https://riunet.upv.es/>

<https://ruc.udc.es/>

<http://oa.upm.es/>

<https://conpat2019.com/>

1.4.2 Fase A - Análisis comparativo de los modelos obtenidos

Objetivo A.1: Revisión del contenido de cada modelo encontrado

Serán identificados los principales apartados de cada modelo que se relacionen con los procedimientos llevados a cabo para la evaluación de la estructura.

Objetivo A.2: Identificación de similitudes y variaciones referentes a cada a apartado principal elaborado en el paso anterior

Con el contenido claro que presenta cada modelo, podrán ser identificados los procedimientos similares que se presentan en cada uno y las variaciones relacionadas, que serán luego analizados.

1.4.3 Fase B- Estructura del modelo

Objetivo B. Elaboración la estructura del modelo inicial basado en el análisis anterior

Realizar el compilado de la información obtenida de los ítems anteriores y definir el contenido del modelo inicial de gestión que servirá de base para el avance con las tareas de las siguientes fases.

Serán seleccionados los apartados que, tras el análisis anterior, se consideran convenientes para introducirlos en el modelo base.

Con las consideraciones anteriores será elaborado el modelo inicial de este trabajo.

1.4.4 Fase C – Desarrollo del modelo

Objetivo C: Incorporar información adicional como herramientas que se utilizan para el diagnóstico de estructuras, procedimientos y especificaciones relacionadas.

A través de la identificación de normativas relacionadas al diagnóstico estructural y la selección del contenido adecuado para el aporte al modelo de gestión buscado.

1.4.5 Fase D- Validación del modelo.

Objetivo D.1: Validación del modelo con especialistas en evaluación de las estructuras de hormigón

A los especialistas se les presentará el modelo de la fase C para solicitar que lo revisen a modo de agregar nueva información o realizar sugerencias en cuanto al contenido actual.

Objetivo D.2: Recopilar información obtenida del retorno de los expertos a quienes se haya consultado.

Con la información brindada por cada experto, se puede realizar un resumen final, de las sugerencias, modificaciones, información adicional y otras consideraciones que hayan sido comunicadas.

Objetivo D.3.: Complementar el modelo anterior, realizar las modificaciones necesarias, obtener el modelo final mejorado para el diagnóstico de estructuras de hormigón.

Con el resumen obtenido de la fase anterior, se hará una revisión del modelo y se aplicarán las modificaciones que se consideren adecuadas para obtener finalmente el modelo mejorado para la gestión del diagnóstico de estructuras de edificios.

2 Marco teórico

2.1 Patologías de una estructura de hormigón

El término patología de la construcción hace referencia al tratamiento sistemático de las deficiencias que presentan las construcciones, sus causas, consecuencias y soluciones contempladas (Calavera Ruiz, 2005, vol. I).

Por lo general, cuando se presentan situaciones exitosas en cuanto a la construcción, estas son transmitidas públicamente, sin embargo, los problemas estructurales procuran mantenerse con discreción y evitar su trascendencia, con lo que es difícil conocer la situación actual en que se manifiestan las patologías en la construcción.

La mayor parte de los problemas estructurales que se conocen, son debido a la magnitud en que se presentan y quedan al descubierto, siendo difícil de cubrirlas o en algunos casos debido a que se ha llegado a intervenciones legales por causa de su manifiesto. (Fernandez Canovas, 1994)

Los defectos en una estructura tienen lugar con mayor frecuencia de las que aparentan, pero existen algunas más significativas que otras. Pueden generar catástrofes irremediables como también pueden no generar riesgo alguno para los usuarios.

La seguridad y durabilidad de una estructura, está estrictamente relacionada con los cuidados proveídos durante todas sus etapas, no solamente durante su proyección y ejecución, sino también en el proceso de uso y explotación.

Según Calavera Ruiz (2005) "En general, se puede asegurar que los accidentes catastróficos en estructuras no obedecen a una sola causa o enfermedad actuando aisladamente, si no a una combinación de varias de ellas" (p. 6). Las consecuencias pueden ser potenciadas cuando actúan en simultáneo, dependiendo de la categoría a la que pertenezcan, pero también puede darse el caso en que se cometa un error de gran magnitud y aun así no presentarse daños.

Existe también el caso en que un tipo de daño puede extenderse a lo largo de los años o en un cierto periodo de tiempo y tiendan a comprometer la seguridad de la estructura en cierto momento. Por lo cual es sumamente importante identificarlas a fin de realizar la intervención adecuada y evitar que generen situaciones críticas.

2.2 Agentes que pueden afectar al hormigón

Una estructura puede estar expuesta a acciones climáticas como el calor, la humedad, fuertes vientos o incluso heladas. Además, se encuentran bajo condiciones y acciones de carácter mecánico capaces de producir fatiga o lesiones. Está presente también como situación muy importante el proceso de degradación, el cuál dependiendo del medio en que se encuentre, de la calidad de los materiales y de otros factores, ocurriría de manera más o menos acelerada.

Por tanto, se deben conocer las acciones capaces de afectar a la estructura y sus elementos, de manera a identificarlos a tiempo, conocer las consecuencias que dan lugar a cada una de ellas e implementar medidas de actuación en caso que sean necesarias de acuerdo a la gravedad de la situación que tuviera lugar.

2.2.1 Ataques biológicos

Puede ser causado por aguas residuales en contacto con el hormigón, que provienen de las aguas domésticas o industriales, su acción bacteriana produce una agresión grave al hormigón.

Otra situación donde se producen estos ataques es cuando el hormigón está en contacto con abonos naturales, que puede causar una serie de reacciones químicas que genera riesgos al hormigón. Puede ocurrir además en estructuras de invernaderos donde los cimientos no cuentan con una alta resistencia. (Calavera Ruiz, 2005)

2.2.2 Agresión medio ambiental

Este tipo de agresión afecta a la superficie del hormigón y a su acabado estético. Ocurre cuando por acción del viento se acumulan partículas de polvo sobre la superficie, y en casos donde la rugosidad es alta quedan adheridas firmemente. En este caso si además las lluvias no permiten el lavado de estas superficies, ya sea por la poca pendiente de inclinación o por la presencia de hundimientos e irregularidades, se generan los daños al hormigón con ciertas coloraciones.

Puede darse también cuando la superficie presenta condiciones de humedad que aloja cultivos como algas y otros cultivos biológicos. (Calavera Ruiz, 2005)

2.2.3 Ataques químicos al hormigón

Entre los aspectos en común que presentan este tipo de ataques se pueden citar los siguientes

- ✓ Debe existir un mecanismo de transporte de las moléculas de sustancias agresivas a las reactivas.
- ✓ La presencia de humedad aumenta la velocidad en que ocurren los ataques sin embargo el tiempo en que logra apreciarse este daño en el hormigón es largo.
- ✓ A mayores temperaturas la agresión aumenta.

2.2.4 Ataques químicos al acero

Puede presentarse mediante la corrosión electroquímica, cuando el recubrimiento es insuficiente o no actúa como protección de la armadura, pudiendo deberse por una baja calidad o por fenómenos de carbonatación o fisuración que disminuyen esta capacidad de protección.

Dentro de la masa de hormigón, el oxígeno reacciona con el acero y forman una fina capa que se conoce como proceso de pasivación. El recubrimiento denso y de reducida porosidad impiden el acceso de agentes agresivos a la armadura.

Un caso de corrosión se presenta en el ataque por cloruros, que se transportan mediante el agua de la estructura y producen daños puntuales en la superficie, rompiendo la capa pasiva.

Para situaciones donde existan ciclos de humedad y secado es frecuente la presencia de corrosión en el acero.

2.2.5 Agentes físicos

Se contemplan en este tipo de agentes la erosión y la helada, generalmente producen una disminución en la resistencia del hormigón, pero podría estar concentrada solamente en la superficie, pudiendo afectar a su aspecto estético y en algunas situaciones al recubrimiento de las armaduras.

Las heladas pueden provocar una fisuración interna en el hormigón y reacciones químicas con la presencia de sales de deshielo.

Aquellas estructuras expuestas a la intemperie son propensas a sufrir los fenómenos físicos mencionados.

2.2.6 Ataques por fuego

Estos ataques generan reacciones distintas para los elementos afectados debido a que el acero y el hormigón presentan comportamientos diferentes ante las altas temperaturas.

Algunas anomalías que se producen con estos ataques son:

- ✓ Alteraciones en las características mecánicas del hormigón y de las armaduras.
- ✓ Cambios en la adherencia entre ambos materiales.
- ✓ Deformaciones generadas por las dilataciones impedidas.
- ✓ Esfuerzos producidos por los gradientes de temperatura que se presentan.

2.2.7 La carbonatación del hormigón

Se produce cuando la alcalinidad del hormigón que corresponde a un valor de pH entre 12 y 13 se reduce gradualmente. Este proceso ocurre cuando el anhídrido carbónico presente en el aire ingresa en los orificios capilares del hormigón y se combina con el hidróxido de calcio, formando carbonato de calcio.

Cuando los niveles de pH son inferiores a 9.5, la alcalinidad no es suficiente para la pasivación de la armadura de acero, y con los efectos de humedad y del oxígeno se produce el efecto de la corrosión. (Fernández Canovas,1994, p.71)

2.3 Etapas en las que pueden darse los daños en la estructura

2.3.1 Fallos en el proyecto

Pueden darse por:

- ✓ Deficiencias en el cálculo: Ya sea por la falta de formación del profesional encargado o por otros factores, los cálculos deficientes generan accidentes importantes en las estructuras de hormigón.
- ✓ Errores de concepción: Es frecuente por consideraciones erróneas para el comportamiento del sistema estructural y se ejecutan soluciones inadecuadas. Algunas situaciones pueden ser la falta de armaduras para ciertos esfuerzos que no estuvieron contemplados en el diseño, materialización de empotramientos para forjados que soportan muros de cubierta, obras de drenaje insuficientes entre otros.
- ✓ Fallos en la evaluación de acciones: Podría deberse a las consideraciones inadecuadas de sobrecargas de uso, o las cargas de contrapisos con espesores importantes, también en casos en

que se realiza el cimbrado de plantas consecutivas y no se tienen en cuenta la adición de estas cargas en la evaluación de acciones.

- ✓ Imprecisiones en la normativa: Cada normativa presenta mayores especificaciones en algunos temas que en otros y existen situaciones en que algunos problemas no se contemplan lo suficiente. Podrían citarse casos como el cálculo de forjados sin vigas para consideraciones de acciones horizontales.
- ✓ Fallos por deformaciones excesivas: Se debe a la incompatibilidad de deformaciones entre elementos estructurales y no estructurales. Por tanto, no se debe a un fallo en la estructura si no a la falta de tolerancia de estas deformaciones para las partes no estructurales, principalmente tabiquería y fachadas. Se generan fisuras en estos elementos.

2.3.2 Fallos por materiales

Pueden darse por la mala calidad de un material específico o por su empleo en situaciones inadecuadas. Un ejemplo de este fallo es en los áridos empleados en el hormigón, que cuenten con algún componente que produzcan la expansión de la masa de hormigón, conduciendo a su fisuración.

Otro ejemplo es el exceso de cal libre del cemento que produce la eflorescencia y fisuración en el hormigón.

Se recomienda para evitar estos fallos el empleo de áridos y agua con un índice razonable de idoneidad, en caso de no existir, realizar ensayos que comprueben que sean aptos para el uso.

Los ensayos de control pueden reducirse con los sellos de calidad o las certificaciones de ciertos materiales y son una garantía previa.

2.3.3 Fallos en la etapa de ejecución

- ✓ Cimbras y encofrados: Pueden generarse desalineaciones de pilares en plantas consecutivas que dan lugar a anomalías considerables. Además los fallos en la evaluación de presiones del hormigón fresco y la rigidez de los tableros.
- ✓ Elaboración y colocación de armaduras: Puede producirse el descenso de armaduras negativas al no estar aseguradas a las armaduras transversales. Además de errores en la disposición de separación de estribos o el diámetro de barras de acero.
- ✓ Recubrimiento: La falta del empleo de separadores puede dar lugar a recubrimientos escasos y con armaduras expuestas.
- ✓ Desencofrado: Debe realizarse el desencofrado cuando el elemento estructural alcance un porcentaje específico de la resistencia nominal del proyecto a los 28 días. Un punto importante también es el orden en que se retiran los puntales, debe realizarse por etapas comenzando desde el centro hacia los apoyos.

2.3.4 Fallos en la etapa de uso y mantenimiento

Generado principalmente por la escasa difusión del concepto de mantenimiento y la inexistencia de una reglamentación a ser aplicada en estos casos.

Sumando el hecho de que los propietarios no necesariamente no cuentan con conocimientos aptos para la detección de síntomas en la estructura, resultando una reparación costosa al momento de recurrir a un especialista.

Algunos ejemplos se dan por la agresión medioambiental, en estructuras de hormigón visto con falta de limpieza periódica, generándose manchas en su superficie.

Otro caso es el cambio de uso de la estructura generando sobrecargas mayores a las previstas en el proyecto y los ataques al hormigón y a las armaduras como insuficiencia de la protección del recubrimiento.

2.4 El diagnóstico de estructuras de hormigón.

Se entiende por diagnóstico al estudio previo a una intervención mediante la identificación de daños y sus causas, evaluando la funcionalidad y seguridad de la unidad constructiva y la probable evolución de los daños. (UNE-EN 41805, 2009)

Por tanto, toda intervención requiere de estudios previos de indagación para el diagnóstico, revisando la información histórica, analizando el proceso patológico con la identificación de las causas de daños y otros agentes a investigar que inciden en el mantenimiento de la estructura.

Para el correcto diagnóstico, se requiere de métodos instrumentales que cuantifiquen los daños.

2.5 Evaluación de una estructura de hormigón

Un correcto diagnóstico, va acompañado de una evaluación estructural, que se entiende como la estimación de su adecuación para cumplir con el objetivo para la que fue proyectado, considerando la seguridad y la funcionalidad. (UNE-EN 41805, 2009)

Según Ley Urzaiz et. al, "La evaluación de los elementos de una estructura, se define como el proceso por el cuál a partir de los datos obtenidos de la inspección y de las campañas de ensayos, apoyándose en el resto de información existente, se determina el estado de cada uno de los elementos inspeccionados, permitiendo la emisión de un juicio técnico sobre las condiciones de seguridad, funcionalidad y durabilidad de dichos elementos, y de su conjunto" (2019, p.234)

En la evaluación global de la estructura, se define la necesidad de efectuar cálculos estructurales para identificar el nivel de seguridad, la funcionalidad y la durabilidad que presenta con su estado actual.

Se contempla además la sugerencia de deterioros que guarden relación con la capacidad portante de la estructura, a través de un modelo estructural en donde sean aplicadas las acciones que actúan y conocer el comportamiento de los elementos.

Con la información obtenida es posible realizar un análisis global y contemplar la necesidad o no de reforzar los elementos de la estructura.

3 Estado del arte

3.1 Revisión bibliográfica

En este apartado se presentan los documentos encontrados relacionados al modelo de gestión para el diagnóstico de estructuras. La búsqueda fue realizada principalmente en los repositorios institucionales de distintas universidades.

En el siguiente cuadro se detallan los documentos encontrados y sus respectivos sitios de acceso donde se disponen:

Tabla 3.1. Resumen de documentos encontrados relacionados a modelos de gestión para diagnosticar estructuras.

Fuente. Elaboración propia

Referencias	Documento	Sitio/Repositorio	Institución	Palabras clave
D1	GUÍA METODOLÓGICA PARA LA IDENTIFICACIÓN, ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE PATOLOGÍAS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO EN EDIFICACIONES	Repositorio Institucional Unilibre	Universidad libre de Colombia	Patologías, estructuras, concreto
D2	TFG: DETECCIÓN, TRATAMIENTO Y PREVENCIÓN DE PATOLOGÍAS, EN SISTEMAS DE CONCRETO ESTRUCTURAL UTILIZADOS EN INFRAESTRUCTURA INDUSTRIAL	Repositorio Nacional de Costa Rica	Universidad Nacional de Costa Rica	Patologías, estructuras, concreto
D3	GUÍA PARA LA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN PRELIMINAR DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN EN EDIFICIOS EXISTENTES	Instituto Valenciano de le Edificación	Generalidad Valenciana	Evaluación, estructuras, existentes
D4	MONOGRAFÍA EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO	Asociación de Reparación, Refuerzo y Protección del Hormigón	ACHE	Evaluación, estructuras, hormigón
D5	GUÍA DE EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, PREVIO A SU INTERVENCIÓN Y REPARACIÓN	Repositorio Digital Universidad Internacional de Ecuador	UIDE	Evaluación, estructuras, hormigón
D6	GUÍA METODOLÓGICA PARA EL RECONOCIMIENTO IN SITU DE PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	Repositorio Universidad Militar de Nueva Granada	Universidad Militar de Nueva Granada	Patologías, estructuras, concreto

Fue analizado el contenido de cada una de las guías encontradas a fin de conocer las actividades que se consideran para el diagnóstico de estructuras y el proceso para cada una de ellas. Se detectaron similitudes en estos contenidos con algunas diferencias o pasos adicionales no contemplados en otros trabajos. Por tanto, se resumió el índice general para cada una de las guías y se propuso uno para el modelo a elaborar:

Tabla 3.2. Resumen de contenidos de guías encontradas.

Fuente. Elaboración propia

Documento	Comparación de contenidos de guías y modelos existentes						CONTENIDO GENERAL PROPUESTO
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	
CONTENIDO GENERAL	Introducción	Introducción	Normativa relacionada	Introducción	Patologías	Introducción	Introducción
	Patologías, definiciones, clasificación en etapas del proyecto	Recopilación de información, inspecciones	Introducción	Acciones que afectan al hormigón		Recopilación de información	Marco teórico. Patologías. Agentes causantes. Clasificación.
	Clasificación de las patologías según el origen del agente	Pruebas y ensayos	Recopilación de información	Normativas		Causas de deterioro	Normativas de respaldo
	Análisis no destructivo, recopilar información, inspecciones	Análisis de resultados	Ensayos destructivos y no destructivos	Métodos y técnicas para la investigación realizada		Directrices para la evaluación	Metodología. Encuesta. Validación con expertos
	Análisis destructivo, ensayos, pruebas de laboratorio, valoración	Informe de inspección preliminar	Recomendaciones para la evaluación in situ	Ensayos no destructivos, inspección		Recopilación de la información	Modelo de gestión para el diagnóstico de estructuras
	Calculos estructurales y análisis de resultados	Clasificación de las patologías según el origen del causante	Acciones que deterioran al hormigón			Inspección visual	Recopilación de información
	Deterioros del concreto, clasificación, especificaciones	Deterioro del concreto	Informe de evaluación			Ensayos destructivos y no destructivos	Inspección de la estructura
		Recomendaciones	Análisis de los resultados			Patologías	Ensayos destructivos y no destructivos
							Herramienta propuesta para mejorar la gestión.
							Fichas para la inspección encontrado
						Análisis del estado encontrado	
						Recomendaciones	
						Informe de resultados	

En el análisis del contenido se pudo observar que los documentos hacen referencia a distintas normativas y publicaciones relacionadas a la evaluación de estructuras, tanto de origen latinoamericano como europeo y estadounidense. En el siguiente cuadro se mencionan algunas de las referencias utilizadas para los trabajos publicados:

Tabla 3.3. Normas y trabajos de referencia para los documentos encontrados.

Fuente. Elaboración propia

D1		D2		D3	D4		D5		D6	
Norma Técnica Colombiana NTC 3692	Método de ensayo para medir el número de rebote del concreto endurecido	ACI 201.2R	Guía para la durabilidad del concreto	Manual BRIT 4062	ACI 214.4R-10	Guía para la obtención de núcleos e interpretación de resultados de resistencia a compresión	Diagnóstico de estructuras	Fernandez. C, Manuel. Universidad Politécnica de Madrid	ACI 201	Guía para la durabilidad del hormigón
Norma Técnica Colombiana NTC 3658	Método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas	ACI 228.2R-98	Métodos de ensayos no destructivos para la evaluación del concreto en estructuras	Plan de calidad de la comunidad Valenciana	ACI 437R-03	Evaluación de la resistencia de estructuras de concreto existentes	La ciencia de las estructuras	Heyman. Madrid-España	ACI 224	Control de fisuración en estructuras de hormigón
Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica	Guía de patologías constructivas, estructurales y no estructurales	ACI 301-05	Especificaciones para el concreto estructural		UNE-EN 13791:2009	Evaluación de la resistencia a compresión in situ en estructuras y elementos prefabricados	La agresividad del medio y la durabilidad del hormigón	Helene, Paulo. Barcelona-España	Manfredo, G.L - Peru	Inspecciones técnicas de seguridad estructural en edificaciones de concreto armado

Atendiendo que las guías recopiladas para este trabajo presentan procedimientos similares en algunos casos, para el diagnóstico de estructuras y sin embargo se respaldan bajo distintas bibliografías, se optó por elaborar un índice de contenidos teniendo en cuenta las guías revisadas y realizar la verificación de las normativas de referencia para corroborar la existencia de nuevas versiones que consideren la evaluación de estructuras a fin de unificar criterios al momento de elaborar el modelo final propuesto en este trabajo.

Las bibliografías de base con referentes a las publicadas por el comité ACI, las normas UNE y el código estructural.

3.2 Normativas de referencia

3.2.1 CTE DBSE Anejo D. Evaluación estructural de edificios existentes

Esta reglamentación contempla por primera vez en cuanto a las estructuras de hormigón, la gestión de las estructuras existentes durante su vida útil y detalla en uno de sus anejos las consideraciones para la evaluación de estructuras de edificios existentes (ANEJO D- CTE DBSE)

3.2.1.1 La evaluación de estructuras existentes

Según CTE DBSE "La evaluación estructural de un edificio existente, se realizará, normalmente, mediante una verificación cuantitativa de su capacidad portante y, en su caso, de su aptitud de servicio, teniendo en cuenta los procesos de deterioro posibles"

El código recomienda también un procedimiento mediante fases en donde se tienen en cuenta las condiciones actuales del edificio. Se propone que en cada fase se aumente la precisión de las hipótesis para la evaluación.

Para dar por finalizado el proceso de evaluación, debe cumplirse que en alguna de las fases se alcance una conclusión inequívoca sobre la seguridad estructural del edificio o si fuese el caso sobre las medidas a adoptar. Si se presentase una situación en la que no sea posible la verificación de la capacidad portante o no se cuente con una adecuada aptitud de servicio, en el informe final deben especificarse las recomendaciones relacionadas a las medidas de actuación.

Un aspecto importante mencionado en el código es que, para los casos en que no sea posible o sea poco fiable una verificación cuantitativa, o si el edificio demostró en el pasado un comportamiento satisfactorio, puede realizarse una evaluación cualitativa tanto de la capacidad portante como de la aptitud de servicio de acuerdo con unos criterios que serán descriptos en este apartado.

3.2.1.2 Las fases de la evaluación propuestas por este código se describen a continuación:

1ª Fase: Evaluación preliminar

Se incluyen primeramente los trabajos de recopilación y estudio de la información disponible. Si fuese el caso se deberá incluir el levantamiento de planos.

Se incluyen luego trabajos de inspección preliminar, la elaboración de las bases para la evaluación y la verificación preliminar de la capacidad portante. Se considera además la verificación preliminar de la aptitud de servicio de los elementos estructurales principales.

2ª Fase: Evaluación detallada

Los trabajos que se proponen en esta fase incluyen la inspección detallada de la estructura, con la cuantificación de daños posible, para determinar el estado del edificio. Además, la actualización de la geometría y planos correspondientes, de las acciones presentes y las características de los materiales en relación a la información preliminar recibida.

De los trabajos anteriores, se propone la actualización de las bases para la evaluación, para luego realizar el análisis estructural y por último las verificaciones tanto de la capacidad portante como de la aptitud de servicio.

3ª Fase: Evaluación avanzada, con métodos de análisis de seguridad

Se incluye de forma general, la determinación de aquellas situaciones consideradas determinantes en el dimensionamiento. Luego la adquisición, si se diera el caso de más datos relacionados a las características de la estructura, de los materiales o de las acciones que actúan.

Además, la determinación de los modelos probabilistas de las variables, para el análisis estructural y la verificación con métodos de seguridad.

3.2.1.3 En cuanto a la recopilación de la información:

Se considera en principio el estado actual de la estructura existente. Para la evaluación deberá recabarse la información relacionada a:

- Las acciones que actúan, tanto directas o indirectas considerando los criterios siguientes:
 - ✓ Verificación en obra del peso propio de los elementos, con relación a los valores adoptados inicialmente de la información recibida previamente.
 - ✓ Adoptar sobrecargas de acuerdo con el uso futuro de la obra, pueden utilizarse modelos específicos adaptados al caso estudiado.
 - ✓ Determinar las acciones climáticas a partir de mediciones de las estaciones meteorológicas representativas para la obra, para un periodo adecuado de tiempo. Los efectos extremos de las acciones no pueden deducirse de forma directa con los valores medidos. Debe realizarse un ajuste para considerar el periodo de servicio restante.
 - ✓ Considerar las influencias ambientales de origen físico, químico o biológico que pudieran alterar a las condiciones de los materiales o a la resistencia de los elementos de la estructura. De igual forma verificar los cambios que puedan producirse tras una intervención. Si presentase incertidumbre ante estos aspectos, se requerirá de inspecciones, ensayos o mediciones correspondientes.
- La geometría de la estructura, a través de la recopilación de datos en obra en caso de que no exista información disponible, o se presenten modificaciones respecto al proyecto inicial sin planos fiables, o en caso de que no se correspondan los planos proveídos con lo encontrado en la estructura.
- Las características de los materiales, a través de ensayos destructivos y no destructivos cuando no se cuente con información fiable, se considerarán muestreos estadísticamente representativos donde se tengan en cuenta las condiciones de uso y las influencias ambientales.
- El sistema estático y el comportamiento estructural, en base a:

- ✓ Comprobación de las condiciones de carácter determinante para el comportamiento estructural, incluyendo las condiciones de apoyo, capacidad de deformación, empotramientos, etc.
- ✓ Para el caso donde el comportamiento estructural se determine con métodos experimentales, se considerará en la evaluación de los resultados que los ensayos tienen en cuenta cargas de servicio y en la capacidad portante se evaluará para estados de carga más críticos.
- Las anomalías que se presenten como corrosión, deformaciones, fatiga, desplazamientos, etc.

Algunos aspectos en cuanto a la evaluación de ensayos y la representación de los resultados se mencionan a continuación:

- Para casos en que se cuente con un reducido número de resultados, y si se encuentra disponible información previa, puede realizarse la combinación de ambos, debido a que la aplicación de métodos clásicos de la estadística arrojaría valores conservadores para un bajo número de resultados. Se podrá entonces mejorar la información.
- Métodos probabilistas o semi-probabilistas serán empleados para la representación de los resultados obtenidos de los ensayos o mediciones realizadas.
- En el análisis semi-probabilista, se busca determinar el valor representativo de la variable correspondiente. Este valor depende de la variable en estudio, debe ser acorde con la definición del coeficiente parcial según sea el caso.
- Para el análisis probabilista, se representan las variables involucradas en la verificación, mediante funciones de densidad probabilística. En ocasiones pueden caracterizarse estas funciones a través de parámetros como el valor medio, desviación típica o el tipo de distribución.

Posteriormente deben prepararse las bases de cálculo:

- Consiste en la adecuación de las situaciones de dimensionado que hayan sido consideradas en el proyecto original, incluyendo las consideraciones por daños observados y la incidencia en los mecanismos de fallo. En caso de que no se dispongan de bases de cálculo proveniente del proyecto original, se elaborarán a efectos de la evaluación.
- Considerar además las medidas previstas que cumplan con las exigencias de la capacidad portante y la aptitud de servicio.

Y finalmente considerar el control de riesgos: inspección y planificación de medidas

- Pueden ser aceptados ciertos riesgos dependiendo de su baja frecuencia de ocurrencia para las situaciones que puedan originarlas o si las consecuencias relacionadas a alguna situación sean suficientemente pequeñas. Para aceptar los riesgos se requieren de medidas de inspección y control, que incluyan las inspecciones periódicas, monitorización y otras actividades, se evaluará la detección de posibles daños en un estado temprano, de manera a que sean adoptadas medidas de mitigación y evitar un evento no deseado. Deben reflejarse en la memoria los riesgos aceptados.
- En función del tipo y características de los riesgos, y de la obra, serán definidos el alcance y la intensidad de las medidas de inspección y control, además de la reducción de las consecuencias de riesgos aceptados.

3.2.1.4 En cuanto al análisis estructural:

- Deben considerarse para el estado actual del edificio los procesos de deterioro que sean de importancia. Para el caso de las incertidumbres asociadas con los modelos a emplearse, se representarán con coeficientes parciales en el análisis semiprobabilista y con la introducción de variables del modelo en el análisis probabilista.
- Serán utilizados coeficientes de conversión para adecuar la influencia de los efectos de escala o de forma, del tiempo de aplicación de una carga, humedad y temperatura.
- Debe considerarse en el análisis la incertidumbre relacionada con las condiciones de elementos. La dispersión en cuanto a la capacidad portante o las dimensiones de la sección transversal podrá ser adecuada tras este análisis.
- Si la estructura presenta indicios de deterioro se deben identificar los mecanismos de deterioro para luego determinar su comportamiento futuro.

3.2.1.5 En cuanto a la verificación:

Aspectos generales:

- Para verificar la capacidad portante y la aptitud de servicio deben considerarse las situaciones de dimensionado actualizadas y el periodo de servicio restante que se estime.
- En el caso de la capacidad portante, se tendrá en cuenta su capacidad de deformación y su modo de fallo previsible. Considerar además la redistribución de esfuerzos si fuese posible y si existen deformaciones previas ante un fallo inminente.
- Además, deben agregarse situaciones extraordinarias que puedan ocurrir en el periodo de tiempo restante.
- Deberá realizarse una verificación de la seguridad frente a fatiga cuando en el periodo de servicio restante puedan presentarse cargas variables repetidas o vibraciones por resonancia.

3.2.1.5.1 Verificación de la capacidad portante:

- Evaluación preliminar:

Deben actualizarse los valores representativos de las acciones, junto con la información actualizada sobre la estructura, a fin de verificar la capacidad portante para el periodo de servicio restante. También deben adoptarse coeficientes parciales de seguridad para las acciones y la resistencia de acuerdo con lo especificado en el apartado 4.2 de la norma.

- Evaluación detallada:

En este caso, los coeficientes parciales adoptados en el paso anterior, deben particularizarse, con la información adquirida, previendo la influencia de los cambios en las incertidumbres relacionadas a las variables. Estos coeficientes deben calibrarse en base a los coeficientes de las exigencias del nivel de seguridad estructural.

- Evaluación avanzada con métodos probabilistas

Se requerirán los siguientes pasos:

Paso 1: El dimensionamiento riguroso de la estructura considerando las normas de las acciones y la resistencia requerida

Paso 2: La determinación de la probabilidad de fallo de la estructura dimensionada en el paso anterior, aplicando para las variables básicas los parámetros implícitos dentro de las especificaciones de normas empleadas. Esta probabilidad obtenida será la admisible según las normas utilizadas.

Paso 3: La determinación de la probabilidad de fallo para la estructura que se requiere evaluar, considerando la actualización de los parámetros de las variables involucradas en el cálculo.

La estructura en estudio, cumplirá con la seguridad estructural si la probabilidad de fallo obtenida en el paso 3, es inferior a la probabilidad de fallo admisible del paso 2.

3.2.1.5.2 Verificación de la aptitud de servicio:

Cuando se cumpla que, para las situaciones de dimensionado consideradas para una estructura, el efecto de las acciones no alcanza el valor máximo admisible establecido para dicho efecto, se puede decir que dicha estructura o elemento estructural cuenta con un comportamiento adecuado para el periodo de servicio restante en relación con un determinado criterio.

Para los efectos de las acciones debe tenerse en cuenta valores actualizados relacionados e incluir las influencias que correspondan, además de toda la información actualizada de la estructura.

En cada caso deben determinarse los valores límite de los efectos provenientes de las acciones y se requiere su concordancia con el objetivo de la verificación.

Pueden utilizarse métodos probabilistas para la verificación de la aptitud de servicio, mediante el uso de parámetros actualizados de las variables involucradas en el cálculo.

3.2.1.6 En cuanto a la evaluación cualitativa:

3.2.1.6.1 Para la capacidad portante

La norma DBSE expone que *“Puede suponerse que un edificio que haya sido dimensionado y construido de acuerdo con las reglas de normas antiguas, tendrá una capacidad portante adecuada, si se cumplen las siguientes condiciones*

- *el edificio se ha utilizado durante un periodo de tiempo suficientemente largo sin que se hayan producido daños o anomalías (desplazamientos, deformaciones, fisuras, corrosión, etc.);*
- *una inspección detallada no revele ningún indicio de daños o deterioro;*
- *la revisión del sistema constructivo permita asegurar una transmisión adecuada de las fuerzas especialmente a través de los detalles críticos;*
- *teniendo en cuenta el deterioro previsible así como el programa de mantenimiento previsto se puede anticipar una durabilidad adecuada;*
- *durante un periodo de tiempo suficientemente largo no se han producido cambios que pudieran haber incrementado las acciones sobre el edificio o haber afectado su durabilidad;*
- *durante el periodo de servicio restante no se prevean cambios que pudieran incrementar las acciones sobre el edificio o afectar su durabilidad de manera significativa. ”*

Si se presentan situaciones de dimensionado extraordinarias, podría ser insuficiente la evaluación cualitativa.

Para una estructura donde su capacidad portante haya sido evaluada cualitativamente, debe controlarse su comportamiento periódicamente durante el tiempo restante de servicio. Los métodos por emplearse dependerán de las características de la estructura y las acciones que actúen sobre ella.

3.2.1.6.2 Para la aptitud de servicio

La norma DBSE expone que *“Un edificio que haya sido dimensionado y construido de acuerdo con las reglas de normas antiguas podrá considerarse apto para el servicio, si se cumplen las siguientes condiciones:*

el edificio se ha comportado satisfactoriamente durante un periodo de tiempo suficientemente largo sin que se han producido daños o anomalías, y sin que se han producido deformaciones o vibraciones excesivas;

una inspección detallada, no revela ningún indicio de daños o deterioro, ni de deformaciones, desplazamientos o vibraciones excesivas;

durante el periodo de servicio restante no se prevean cambios que puedan alterar significativamente las acciones sobre el edificio o afectar su durabilidad;

teniendo en cuenta el deterioro previsible, así como el programa de mantenimiento previsto se pueda anticipar una adecuada durabilidad. ”

3.2.1.7 Resultados de la evaluación

- Si se demuestra que el edificio cuenta con una adecuada seguridad estructural, podrá utilizarse con las condiciones establecidas. Debe proponerse un plan de inspección y mantenimiento acorde con las características y la importancia de la estructura.
- En caso de que no pueda demostrarse una adecuada seguridad estructural, serán propuestas recomendaciones en base a los resultados de la evaluación. En algunas situaciones, la evaluación preliminar puede proponer adoptar medidas preventivas para asegurar la estructura.

3.2.2 Código estructural – Real decreto 470/2021

El nuevo código estructural adopta un enfoque prestacional y puede emplearse en línea con el Código Técnico de la Edificación, modificado por última vez el 20 de diciembre del 2019 (Real decreto 732/2019) y quedando derogados la EHE-08 y la EAE aprobadas en el Real Decreto 1247/2008 y 751/2011 respectivamente.

Se incluye la gestión de las estructuras existentes durante su vida útil, además de los sistemas de protección, reparación y refuerzo de estructuras.

Algunos de los apartados mencionados en este código siguen la línea descrita en el CTE-DBSE que fue detallada anteriormente, se pretende un mayor énfasis en el análisis semiprobabilista que se utiliza en el cálculo estructural para la comprobación de estados límite.

3.2.2.1 Artículo 25. Criterios generales para la evaluación de estructuras existentes

En este artículo se especifican nuevamente 3 fases para la evaluación. En la cual, la fase 3 indica que para la evaluación avanzada con métodos de análisis de seguridad se presentan cuatro niveles de análisis:

Tabla 3.4. Niveles de análisis estructural

Fuente. Real Decreto 470/2021, 2021, p. 62

Nivel	Método
1	Comprobación de la estructura frente a las acciones que justifican la necesidad de la comprobación: un cambio de uso, una acción temporal, etc.
2	Comprobación de la estructura para las acciones objeto de la comprobación, incluidas las acciones definidas en las bases de cálculo para obra nueva. Se utilizarán los códigos de materiales con unos coeficientes parciales de ponderación corregidos, en virtud de la disminución de incertidumbres que representa que la estructura ya existe y que, en su caso, ha evidenciado un comportamiento previo positivo.
3	El marco de comprobación, es, como en el nivel 2, semiprobabilista, pero utiliza información actualizada en forma de características resistentes deducidas tras una inspección especial, auscultación o pruebas de carga. Contexto semiprobabilista con coeficientes parciales ajustados con el fin de obtener la misma fiabilidad que para obra nueva.
4	Aproximación sofisticada en forma de análisis no lineal tridimensional, en un contexto de formato de comprobación probabilista.

En el nivel 3 se describe el empleo de métodos semiprobabilistas para la comprobación, mediante la información actualizada de las características de la estructura obtenidas en los trabajos de evaluación realizados.

3.2.2.2 Capítulo 15- Gestión de las estructuras de hormigón durante su vida de servicio.

Artículo 74. Evaluación de estructuras existentes de hormigón

La ecuación utilizada para la comprobación en el marco de los Estados Límites últimos es la siguiente para la evaluación de estructuras existentes de hormigón:

$$E_d \leq R_d$$

Siendo

- ✓ E_d : el valor de cálculo de los efectos de las acciones.
- ✓ R_d : el valor de cálculo de la resistencia correspondiente.

Se menciona en este artículo que "Para el análisis de construcciones existentes de hormigón, como señala el artículo 25, es posible utilizar tanto un formato semi-probabilista con coeficientes parciales modificados, como un planteamiento probabilista." (Real Decreto 470/2021, 2021, p. 221)

3.2.2.3 Anejo 18. Capítulo 6. Comprobación por el método de coeficientes parciales (empleo de método semiprobabilista)

En este método las incertezas que provienen de las variables y otros factores (fallos en la ejecución, modelos de cálculo y otros) se aplican mediante los coeficientes de seguridad, que minoran las propiedades de los materiales y mayoran los efectos de las acciones.

Al aplicar los coeficientes de seguridad no variables se sugiere una distribución normal. El método de los coeficientes parciales es empleado en el código estructural y es eficaz para los métodos semiprobabilistas.

3.2.2.3.1 Valores de cálculo de las acciones

Para una acción F, su valor de cálculo F_d se expresa como la siguiente ecuación:

$$F_d = \gamma_f \cdot F_{rep}$$

$F_{rep} = \psi \cdot F_k$

Donde

- ✓ F_k indica el valor característico de la acción
- ✓ F_{rep} es el valor representativo de la acción
- ✓ γ_f indica el coeficiente parcial de seguridad para la acción
- ✓ ψ Puede ser 1,00 o ψ_0 , ψ_1 o ψ_2

Siendo:

- ψ_0 el coeficiente de combinación del valor de una acción variable, puede ser obtenido mediante procedimientos estadísticos, considerando que la probabilidad de que no se superen los efectos originados por la combinación sea cercana a la obtenida con el valor carácterístico de una acción individual. Se expresa como una parte del valor carácterístico con el factor $\psi_0 \leq 1$
- ψ_1 el valor frecuente de una acción variable, determinado con procedimientos estadísticos, considerando que el tiempo total, dentro de un cierto periodo, en el que el valor es superado solo ocurre para una pequeña parte de este periodo. Se expresa como una parte del valor carácterístico con el factor $\psi_1 \leq 1$
- ψ_2 el valor cuasi-permanente de una acción variable. Establecido de manera que el tiempo total en el que se excede es una parte importante de cierto periodo de referencia. Se expresa como una parte del valor carácterístico con el factor $\psi_2 \leq 1$

3.2.2.3.2 Valor de cálculo de los efectos de las acciones

Los valores de cálculo de los efectos de las acciones, para situaciones de carga específicas pueden ser expresadas con la siguiente ecuación:

$$E_d = \gamma_{sd} E (\gamma_f; F_{rep}; ad)$$

Donde

- ✓ ad es el valor de cálculo para datos geométricos
- ✓ γ_{sd} es el coeficiente parcial de seguridad que tiene en cuenta incertidumbres

3.2.2.3.3 Valor de cálculo de la resistencia correspondiente

Puede obtenerse la resistencia directamente con el valor carácterístico de la resistencia del material:

$$R_d = R_k / \gamma_M$$

En el caso del hormigón, su resistencia carácterística se basa en la que se obtiene a los 28 días. Esta resistencia se refiere al cuantil 5% de la distribución normal en la probabilidad de resistencia

3.2.3 (ACI 562-19) Requisitos del código para evaluación, reparación y rehabilitación de estructuras de concreto existentes

3.2.3.1 Evaluación preliminar

“La evaluación preliminar es generalmente la primera parte del trabajo necesario para determinar la categoría de rehabilitación. Según los resultados de la evaluación preliminar, es posible que se requiera una evaluación estructural para determinar la extensión del daño o si existen condiciones estructurales potencialmente peligrosas”

Tiene por objeto examinar la información disponible referente a la estructura y definir de forma preliminar su idoneidad para soportar las acciones de las cargas de diseño y las condiciones ambientales correspondientes. Con los resultados recabados de esta evaluación preliminar deben tomarse decisiones con relación a:

- ✓ La situación actual que se observa
- ✓ Información adicional necesaria
- ✓ Elementos necesarios para llevar a cabo los trabajos de evaluación
- ✓ Medidas para la rehabilitación a considerar
- ✓ Necesidad de apuntalamiento provisorio para brindar seguridad a la estructura existente.

Con el avance de la disposición de datos adicionales, se deben actualizar los resultados provenientes de la evaluación preliminar.

El profesional puede definir que los criterios según el apartado 4.6 de esta norma descripta más abajo se aplican en la evaluación preliminar con el juicio de ingeniería, sin necesidad de análisis si se confirman los siguientes puntos:

- La estructura se ha desempeñado adecuadamente a lo largo de los años y la observación de las condiciones estructurales de los miembros indican un comportamiento aceptable, que permite obviar la evaluación con los criterios mencionados según el apartado 4.3 de esta norma descripta más abajo.
- Tras la revisión de la documentación disponible y la observación preliminar de las condiciones estructurales actuales se definen daños o deterioros inferiores al nivel donde se requiere evaluación como lo expuesto en los apartados 4.4 y 4.5 de esta norma descriptas más bajo
- No están previstas modificaciones adicionales o alteraciones que involucren cambios en el uso actual.

Se permiten reparaciones que aborden la durabilidad y la capacidad de servicio sin analizar miembros y sistemas y sin verificar los límites de la relación demanda-capacidad si se determina que la estructura es estructuralmente aceptable. **El desempeño estructural debe considerarse aceptable** si el desempeño pasado y presente ha sido satisfactorio y las observaciones no indican una falla estructural más allá de los niveles esperados.

En algunos casos, las condiciones estructurales potencialmente peligrosas requerirán la instalación de apuntalamiento, o que se limite el acceso o bien se tomen medidas de mitigación acordes.

3.2.3.2 Daño estructural sustancial:

Se da en elementos verticales del sistema resistente a esfuerzos laterales, cuando en cualquier nivel, los muros o columnas del sistema estén dañados al punto en que la capacidad nominal resistente a cargas

laterales de la estructura en cualquier dirección horizontal se encuentra reducida en más del 33% de su condición previa al daño. De acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\frac{\sum R_n}{\sum R_{cn}} \geq 1.5$$

Donde

- ✓ R_n :Capacidad nominal resistente previa al daño
- ✓ R_{cn} :Capacidad nominal resistente actual

Para el caso de elementos verticales del sistema resistente de cargas de gravedad, el daño estructural sustancial se presenta cuando en cualquier muro o columna del sistema resistente a la carga de gravedad con un área de influencia menor o igual a un 30 % con relación al área de piso de la estructura, presentan daños tales que la capacidad nominal vertical total ($\sum R_n$) se encuentra reducida en más del 20% de la condición previa al daño ($\sum R_{cn}$), como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\frac{\sum R_n}{\sum R_{cn}} \geq 1.25$$

Además, si al mismo tiempo se cumple que, cuando el código de construcción actual considere la demanda de carga por gravedad (muerta, viva y de nieve) en la relación de capacidad de diseño vertical in situ de elementos dañados, y esta sea mayor a 1.33 como se muestra en la ecuación siguiente:

$$\sum U_c / \sum \varphi R_{cn} \geq 1.33$$

3.2.3.3 En cuanto a los cálculos preliminares:

Si se requiere en la evaluación preliminar, se deben considerar en el cálculo las condiciones del lugar e incluir una evaluación de la pérdida de la capacidad por los mecanismos de deterioro.

Pueden utilizarse propiedades históricas basadas en valores típicos utilizados al momento de la construcción si no se dispone de resultados de pruebas de materiales en este paso. En caso de que sí se disponga de ellos en los documentos de construcción pueden utilizarse en la evaluación preliminar.

3.2.3.4 Otras consideraciones:

En estructuras existentes la evaluación debe enfocarse al inicio en elementos críticos resistentes a cargas de gravedad, como columnas y muros. Posterior a ello se debe evaluar el sistema resistente a la carga lateral.

Si se presentan situaciones donde existan mecanismos que deterioren o produzcan cambios en las propiedades del material, como daños por fuego, se debe incluir en la evaluación este efecto para el desempeño del material. Algunos mecanismos de deterioro pueden ser la corrosión del acero, daño térmico, congelación y descongelación.

Las condiciones por documentarse en la evaluación preliminar son:

- Agrietamientos
- Desconchados
- Deflexión de miembros
- Dimensiones de la sección transversal de elementos que no se correspondan con las especificadas en el proyecto
- Construcciones con tolerancias superiores a las admisibles según los criterios originales de diseño

3.2.3.5 La evaluación de estructuras existentes:

Una evaluación estructural es el proceso de adquirir conocimiento de la estructura existente utilizada con el propósito de juzgar el desempeño futuro. Los resultados de la investigación y evaluación se utilizan para tomar decisiones sobre el curso de acción apropiado con respecto al uso futuro de la estructura y la idoneidad de la estructura para continuar en servicio

Los campos de trabajo que contemplan las evaluaciones son las siguientes:

(a) La investigación de las condiciones existentes del lugar de la estructura mediante:

I. La recopilación y revisión de datos de campo para la estructura relacionados a la geometría, resistencias de los materiales, condiciones, síntomas de deterioro, extensión del daño, desplazamientos, aspectos ambientales y ubicación

ii. Recopilación de datos de antecedentes, como proyectos de construcción, registros de construcción, originales, actuales y normativas que rigen los edificios existentes y eventos históricos

(b) La evaluación de una estructura, elemento o sistema existente del área de trabajo

(c) Los resultados y conclusiones de la investigación y evaluación incluyen:

I. Definir la categoría de rehabilitación de estructura, elemento o sistema existente

ii. Identificar el área de trabajo, el alcance del trabajo y la posible causa o mecanismo de daño, angustia y deterioro.

iii. Identificar limitaciones de construcción defectuosa

IV. Evaluar los resultados de los ensayos para determinar la causa del deterioro y estimar el rendimiento futuro.

(d) Determinar los conceptos, metodologías, alternativas y recomendaciones de reparación y rehabilitación.

I. Desarrollar un análisis de costo e impacto económico según sea necesario para evaluar el trabajo de reparación y mantenimiento

ii. Describir las recomendaciones de trabajo de reparación y rehabilitación.

(e) Las conclusiones y recomendaciones del informe incluyen:

I. Límites del área de trabajo y de la información recopilada y evaluada

ii. Criterios de valoración y actividades de evaluación como cálculos, pruebas y análisis

iii. Detalles de los resultados (conclusiones) y recomendaciones

IV. Requisitos de problemas de seguridad (por ejemplo, recomendación para cualquier apuntalamiento temporal)

3.2.3.6 Según 4.3 Condiciones estructurales potencialmente peligrosas

R4.3—Condiciones estructurales potencialmente peligrosas

4.3.1 Se debe realizar una evaluación estructural en el área de trabajo para determinar si existen condiciones estructurales potencialmente peligrosas cuando exista una razón para que el profesional de diseño con licencia cuestione la capacidad de la estructura o cuando se observen condiciones estructurales potencialmente peligrosas como parte de la evaluación preliminar.

R4.3.1 Se requieren evaluaciones estructurales cuando se observan daños, deterioro, deficiencias estructurales o comportamiento durante la evaluación preliminar que son inesperados o inconsistentes con los documentos de construcción disponibles.

Las condiciones estructurales potencialmente peligrosas.

3.2.3.7 Según 4.6 Condiciones de deterioro, construcción defectuosa o daño menor que daño estructural sustancial sin refuerzo.

4.6.1 Si hay daño estructural menos que sustancial, las estructuras dañadas, deterioradas o que contienen una construcción defectuosa que no requieren refuerzo de acuerdo con 4.5 se usará el capítulo 7 de este código, como criterio de base de diseño

3.2.3.8 Según 4.5. Condiciones de deterioro, construcción defectuosa o daño menor que daño estructural sustancial con refuerzo

“Si un área de trabajo de una estructura tiene un daño menor que un daño estructural sustancial, deterioro o contiene una construcción defectuosa, y existe una razón para que el diseñador profesional con licencia cuestione la capacidad del miembro, sistema o estructura del área de trabajo, entonces se evaluará verificando uno de los criterios en las secciones 4.5.1, 4.5.2 o 4.5.3 según lo seleccionado por el profesional de diseño con licencia. Las secciones 4.5.1 a 4.5.3 no se deben aplicar en combinación entre sí.”

4.5.1. La relación demanda/capacidad del miembro, sistema o estructura del área de trabajo debe evaluarse usando la demanda del código de construcción original (U_o) con cargas nominales, combinaciones de carga factorizadas y capacidades del código de construcción original para determinar si la relación demanda/ capacidad supera 1,0, como se muestra en la ecuación.

$$U_o/\phi R_{cn} > 1.0$$

En la ecuación. (4.5.1), U_o es la demanda de diseño de resistencia determinada mediante el uso de las combinaciones de cargas nominales y cargas mayoradas del código de construcción original. ϕR_{cn} es la capacidad ajustada por el factor de reducción (ϕ_o) del código de construcción original.

Si $U_o/\phi_o R_{cn}$ es mayor que 1.0, entonces se requieren reparaciones de refuerzo y se permitirá restaurar la capacidad estructural requerida por el código de construcción original.

Se permitirá la reparación de la estructura de concreto existente para restaurar un miembro, sistema o estructura del área de trabajo a la capacidad del código de construcción original basado en las propiedades materiales de la construcción original. Los miembros de hormigón nuevos y las conexiones a

la construcción existente deben cumplir con las disposiciones de 4.1.5. Si U_o/ϕ_oR_{cn} es 1.0 o menor, entonces no se requieren reparaciones de refuerzo.

4.5.2. "Se permitirá un criterio de evaluación alternativo cuando lo apruebe la autoridad competente utilizando principios de ingeniería para el miembro, sistema o estructura del área de trabajo de la estructura existente."

"los criterios de evaluación deben abordar si la demanda o la capacidad de la estructura o miembro original es significativamente inconsistente con los estándares actuales, lo que resulta en una seguridad estructural inaceptable."

Se debe cuestionar la aplicabilidad del uso del código de construcción original para la evaluación de una estructura existente cuando se presente:

- Un aumento en la intensidad de la carga;
- cargas añadidas;
- Cambios en factores de carga,
- Factores de reducción de resistencia o combinaciones de carga;
- Modificación de procedimientos analíticos; o los cambios en la capacidad determinada entre el código de construcción original y el actual (como un cambio del diseño de tensión admisible [ASD] al diseño de resistencia)

Un criterio de evaluación para una estructura que tiene un daño menor que un daño estructural sustancial, deterioro o construcción defectuosa que se basa en el umbral de la relación demanda/capacidad de 1.05 usando el código de construcción original o 1.1 usando el código de construcción actual es el siguiente:

- a) Si la demanda del código de construcción actual (U_c) excede la demanda del código de construcción original (U_o^*) aumentada en un 5 por ciento ($U_c > 1.05U_o^*$), verifique la relación demanda/capacidad usando la demanda del código de construcción actual (U_c) para determinar si excede 1.1, como se muestra en la ecuación

$$U_o/\phi_oR_{cn} > 1.1$$

Si la relación demanda/capacidad excede 1.1, entonces ese sistema o miembro debe fortalecerse utilizando la demanda del código de construcción actual. Si la relación demanda/capacidad no supera 1,1, no se requiere refuerzo.

- b) Si la demanda del código de construcción actual (U_c) no excede la demanda del código de construcción original (U_o^*) aumentada en un 5 por ciento ($U_c \leq 1.05U_o^*$), verifique la relación demanda/capacidad utilizando la demanda del código de construcción original (U_o^*).) para determinar si excede 1.05, como se muestra en la ecuación

$$U_o/\phi_oR_{cn} > 1.05$$

Si la relación demanda/capacidad excede 1.05, entonces la resistencia de ese sistema o miembro debe restaurarse utilizando la demanda del código de construcción original. Si la relación demanda/capacidad no supera 1,05, no se requiere refuerzo.

En este criterio de evaluación, los factores de reducción de resistencia (ϕ) de la Sección 5.3 o 5.4 se aplicarán tanto en las ecuaciones de 4.5.2a y 4.5.2b

Tabla 3.5. Valores de ϕ para el diseño de rehabilitación

Fuente. Adaptado. ACI 562-19, 2019, p. 34

Esfuerzo	Clasificación	Refuerzo transversal	ϕ
Flexión, axial o ambas	Tensión controlada		0.9
	Compresión controlada	Espirales	0.75
		Otros	0.65
Cortante, torsión o ambos			0.75
Resistencia al corte			0.75
Cargas en hormigón			0.65
Postensado en zonas de anclaje			0.85
Bielas, tirantes, zonas nodales y áreas de apoyo en modelos de bielas y tirantes			0.75

Tabla 3.6. Valores de ϕ para evaluaciones

Fuente. Adaptado. ACI 562-19, 2019, p. 35

Esfuerzo	Clasificación	Refuerzo transversal	ϕ
Flexión, axial o ambas	Tensión controlada		1
	Compresión controlada	Espirales	0.9
		Otros	0.8
Cortante, torsión o ambos			0.8
Resistencia al corte			0.8
Cargas en hormigón			0.8
Postensado en zonas de anclaje			0.8
Bielas, tirantes, zonas nodales y áreas de apoyo en modelos de bielas y tirantes			0.8

La demanda de diseño de resistencia (U_c) del código de construcción actual combina las cargas de gravedad nominales del código de construcción actual (muerta, viva y nieve) con cargas laterales de fluidos, suelo, viento y sísmica utilizando las combinaciones de carga factorizadas de ASCE/SEI 7. El original

la demanda de diseño de resistencia del código de construcción (U_o^*) combina las cargas de gravedad nominales del código de construcción original (muerta, viva y nieve) y las cargas laterales de fluidos, suelo, viento y sísmica utilizando las combinaciones de carga factorizadas de ASCE/SEI 7.

El uso de datos específicos de la estructura es aceptable, si lo corrobora el profesional de diseño con licencia. Para estos criterios de evaluación, las disposiciones de relación demanda/capacidad en R4.5.2a pueden usarse en la evaluación, ya sea que la demanda del código de construcción actual supere o no la demanda del código de construcción original aumentada en un 5 por ciento.

4.5.3. Si los criterios de diseño de concreto del código de construcción original solo usaban el diseño de tensión admisible, una alternativa al uso de los criterios de diseño de resistencia 4.5.2 es evaluar la relación demanda/capacidad del miembro, sistema o estructura del área de trabajo en función de combinaciones de carga de diseño de tensión admisible para la demanda (U_s) y la resistencia calculada utilizando tensiones admisibles (R_a) como se muestra en la ecuación. (4.5.3).

$$U_s/R_a > 1.0$$

Si la relación demanda/capacidad supera 1,0, entonces se requieren reparaciones de refuerzo y se permitirá restaurar la capacidad estructural según lo exige el código de construcción original. Si la relación demanda/capacidad es 1.0 o menos, entonces no se requieren reparaciones de refuerzo.

Se permitirá la reparación de la estructura de concreto existente para restaurar un miembro o sistema del área de trabajo a la capacidad del código de construcción original basado en las propiedades materiales de la construcción original. Los miembros nuevos de concreto y las conexiones a la construcción existente son parte de la reparación y deben cumplir con las disposiciones de 4.1.5.

3.2.3.9 En cuanto a la investigación y evaluación estructural:

"R6.2.2 Si no hay evidencia de daño, angustia o deterioro de miembros o conexiones similares en otra parte del área de trabajo que requirió reparación, no hay necesidad de realizar una evaluación de miembros similares a menos que existan condiciones potencialmente peligrosas"

Estas condiciones pueden ser cuestiones relacionadas a variaciones significativas respecto al proyecto original (menor resistencia del hormigón, cuantía de acero insuficiente)

En caso que los miembros se encuentren expuestos a un entorno que podría originar deterioro, se requeriría de una evaluación de este sector para definir si existe la necesidad de mejoras en cuanto a refuerzo o durabilidad.

3.2.3.10 Condiciones a tener en cuenta para la documentación en esta etapa:

- Condición física de miembros de la estructura que serán clave para definir la extensión y ubicación del deterioro o daño.
- Las trayectorias de carga a través de los miembros estructurales primarios y secundarios, que brinden seguridad a la estructura.
- Información de los requerimientos del proyecto en cuanto a construcción para definir los factores de reducción apropiados
- Desviaciones presentes en la construcción y dimensiones físicas de los elementos de la estructura
- Información relacionada a propiedades de los materiales, especificaciones y pruebas en materiales disponibles.

- Situación de las condiciones de proximidad de edificios adyacentes, tabiques de carga y otras limitaciones consideradas para la rehabilitación.
- Longitudes de luz, condiciones de apoyo, tipo de uso y de construcción, características arquitectónicas.

Realizar la verificación de la información recopilada en el sitio en estudio. Se podrían requerir pruebas de materiales para contrastar valores.

3.2.3.11 En cuanto a las propiedades de los materiales:

Se describen a continuación los factores que afectan a los materiales y casos en que se requiere una evaluación de los mismos:

- La ductilidad basada en las características mecánicas de los materiales
- Corrosión existente en el acero de refuerzo, con presencia de carbonatación, cloruros o desprendimientos tras la corrosión
- Ataques químicos y reacciones con compuestos
- Congelación y descongelación cíclica
- Deslizamiento de barras en secciones fisuradas que producen deterioro en la rigidez y resistencia

En caso de no contar con información relacionada a las características de los materiales, pueden ser utilizadas las siguientes tablas a partir de datos históricos:

Tabla 3.7. Propiedades predeterminadas de resistencias para barras de acero

Fuente. Adaptado de ACI 562-19, 2019, p. 40

Año	Grado	Estructural		Intermedio		Duro		
		33	40	50	60	65	70	75
	Rendimiento mínimo (MPa)	230	280	350	420	450	485	520
	Tensión mínima (MPa)	380	485	550	620	520	550	690
1911-1959		x	x	x		x		
1959-1966		x	x	x	x	x	x	x
1966-1972			x	x	x	x	x	
1972-1974			x	x	x	x	x	
1974-1987			x	x	x	x	x	
1987-Presente			x	x	x	x	x	x

Tabla 3.8. Propiedades predeterminadas de resistencias para barras de acero para varias especificaciones y periodos

Fuente. Adaptado ACI 562-19, 2019, p. 41

Grado ASTM	Estructural Intermedio Duro						
	33	40	50	60	65	70	75
Rendimiento mínimo (MPa)	230	280	350	420	450	485	520
Tensión mínima (MPa)	380	485	550	620	520	550	690

Designación ASTM	Tipo de acero	Periodo							
A15	Perfil	1911-1966	x	x	x				
A16	Carril	1913-1966			x				
A61	Carril	1963-1966				x			
A160	Eje	1936-1964	x	x	x				
A160	Eje	1965-1966	x	x	x	x			
A185	WWR	1936-presente					x		
A408	Perfil	1957-1966	x	x	x				
A431	Perfil	1959-1966							x
A432	Perfil	1959-1966				x			
A497	WWR	1964-presente						x	
A615	Perfil	1968-1972		x		x			x
A615	Perfil	1974-1986		x		x			
A615	Perfil	1987-presente		x		x			x
A616	Carril	1968-presente			x	x			
A617	Eje	1968-presente		x		x			
A706	Aleación baja	1974-presente				x			
A955	Inoxidable	1966-presente		x		x			x

Tabla 3.9. Valores de resistencia a compresión por defecto del hormigón en MPa.

Fuente. Adaptado (ACI 562-19, 2019, p. 40)

Periodo	Zapatas	Vigas	Losas	Columnas	Muros
1900-1919	7 a 17	14 a 21	10 a 21	10 a 21	7 a 17
1920-1949	10 a 21	14 a 21	14 a 21	14 a 28	14 a 21
1950-1969	17 a 21	21 a 28	21 a 28	21 a 40	17 a 28
1970-presente	21 a 28	21 a 35	21 a 35	21 a 70	21 a 35

3.2.3.12 Otras consideraciones relacionadas:

- Las propiedades de materiales proporcionadas en los documentos de construcción pueden ser utilizadas a menos que se presenten deterioros conocidos que afecten el rendimiento de estos.
- Si no pueden obtenerse valores mediante las tablas anteriores por falta de datos históricos, el valor predeterminado histórico para el límite elástico F_y se tomará como 230 MPa.

3.2.3.13 En cuanto a los métodos de prueba para cuantificar las propiedades de los materiales:

- La resistencia a compresión del hormigón se determina mediante pruebas en núcleos o con la combinación de pruebas no destructivas y núcleos de hormigón. Para el caso del acero se realizará la extracción de muestras y realizarán pruebas destructivas.
- El número de muestras se define durante la evaluación
- Pueden reducirse la cantidad de pruebas si se cuenta con datos fiables de la investigación histórica, la geometría de los miembros, las propiedades de materiales y detalles de la construcción.
- Se deben incluir en los registros el deterioro de materiales y la pérdida de resistencia del concreto si se diera el caso.
- El número de pruebas mínimo requerido queda definido por los datos que se disponen de la construcción original, el tipo de sistema estructural, la precisión buscada, la calidad de los materiales.
- Las pruebas deben ir enfocadas en los principales elementos estructurales y las propiedades buscadas para el adecuado análisis. El profesional se encarga de definir la cantidad y tipo de pruebas a realizar según lo que se requiera evaluar.
- Pueden realizarse pruebas no destructivas para evaluar la resistencia del concreto siempre que se establezca una correlación válida entre las pruebas a compresión en núcleos y los ensayos no destructivos.
- No está permitida la cuantificación de la resistencia a compresión del hormigón utilizando solo ensayos no destructivos, reemplazando al muestreo y ensayo del núcleo.

3.2.3.14 En cuanto a la extracción de núcleos:

- La perforación debe realizarse en ubicaciones donde se afectará en menor medida a la resistencia del elemento
- Debe ubicarse primeramente el acero de refuerzo
- La ASTM C42 exige un diámetro mínimo de núcleo de 94 mm

3.2.3.15 En cuanto al análisis estructural

En el análisis deben utilizarse cargas y combinaciones de carga que produzcan los efectos máximos en los elementos evaluados.

Los principios de ingeniería aceptados que satisfagan el equilibrio de fuerzas y principios de compatibilidad de deformaciones y tensiones deben ser aplicados.

Se realizan evaluaciones y análisis estructurales para verificar la resistencia y la capacidad de servicio.

El profesional debe definir el método de análisis adecuado.

El análisis debe estar basado en:

- La documentación disponible
- Dimensiones construidas

- Propiedades de la estructura en el lugar, incluyendo la pérdida de sección.
- Registros de desviaciones entre construcción existente y documentos de construcción

Si se presentan problemas de capacidad de servicio detectadas en la evaluación preliminar o en la evaluación estructural, el profesional debe verificar la capacidad de servicio en base a la geometría y propiedades existentes de la estructura.

Estos problemas de capacidad de servicio estructural incluyen deflexiones, nivelación del piso, fisuras o grietas. Los efectos del deterioro de material, pérdida de resistencia del concreto y otros aspectos relacionados deben considerarse en la determinación de la capacidad de servicio.

3.2.4 ACI 207.3R-18 Informe de prácticas para la evaluación del concreto en estructuras masivas existentes para condiciones de servicio

3.2.4.1 La inspección visual

Se recomienda incluir una lista de elementos a verificar con situaciones críticas y otros elementos adicionales acorde al criterio del inspector que requieran ser verificados.

Previo a la inspección visual es necesario una revisión exhaustiva de la literatura relacionada al proyecto que se encuentre disponible, incluyendo fotografías, informes anteriores, planos, y entrevistas con el personal que haya estado familiarizado con los problemas estructurales desarrollados si fuese el caso.

El personal del sitio podría brindar información más detallada de los defectos visibles encontrados. Se podría además considerar una revisión de los cálculos para el diseño e identificar las zonas sometidas a mayores esfuerzos con mayor probabilidad de sufrir agrietamientos u otros daños.

La revisión de los requisitos y criterios de diseño utilizados es importante para emprender la investigación en cuanto a materiales que componen la estructura.

3.2.4.2 El relevamiento de daños superficiales

Un daño superficial puede causarse por:

- ✓ Impacto
- ✓ Abrasión
- ✓ Cavitación
- ✓ Deterioro por congelación y descongelación
- ✓ Ataques químicos

En general las estructuras más nuevas no requieren una inspección frecuente como lo requieren las más antiguas y con deterioros. El estudio de daños proporciona información de la zona afectada, con su profundidad y naturaleza, es necesaria la anotación del tipo de daño para un mejor diagnóstico de la causa.

3.2.4.3 El mapeo superficial

Consiste en esquematizar de forma manual el detalle de los daños encontrados, en conjunto con la fotografía y videos de los mismos. Los daños mapeados con frecuencia incluyen:

- ✓ Agrietamientos
- ✓ Desprendimientos
- ✓ Descamación

- ✓ Formación de panales
- ✓ Exudación
- ✓ Decoloración inusual
- ✓ Filtración
- ✓ Corrosión y exposición

Para el mapeo, debe iniciarse en un extremo de la zona a relevar, y avanzar de forma sistemática hasta acabar con toda la superficie. Es necesario llegar a las superficies externas e internas si fuese accesible.

La descripción clara de las condiciones mapeadas, identificando cada una de ellas es importante para el posterior diagnóstico. Si es necesario utilizar escalas exageradas para referirse a pequeñas características encontradas puede aplicarse y presentar un objeto familiar o de tamaño conocido en fotografías referentes al daño mencionado.

3.2.4.4 Levantamiento de grietas

Consiste en identificar, marcar y medir grietas de manera a relacionarlos con otros fenómenos existentes en la estructura como deterioros superficiales, asentamientos, tensiones estructurales, cambios de temperatura y otros.

En general el agrietamiento se presenta como uno de los primeros síntomas relacionados al deterioro del concreto, es por eso que debe evaluarse a futuro la capacidad de servicio de la estructura. Existen casos en donde las grietas aparecen a una edad temprana, sin embargo pueden no ser de carácter trascendental, otros casos donde van aumentando su magnitud con los años y otros que se presentan luego de algún fenómeno ocurrido.

El inspector debe decidir que grietas serán mapeadas, si se consideran las grietas no críticas la tarea podría resultar abrumadora.

- ✓ El procedimiento recomendado es el siguiente:
- ✓ Ubicar y marcar las grietas
- ✓ Definirlas según su dirección: longitudinales, transversales, verticales, diagonales o aleatorias
- ✓ Medir su ancho: finas (espesor menor a 1 mm), medias (espesor entre 1 mm y 2 mm) o anchas (espesor superior a 2 mm)
- ✓ Medir la profundidad de la grieta con respecto a su sección transversal: superficiales (menos del 10% de su sección), someras (10 a 20 % de su sección), profundas (20 a 80 % de su sección) o pasantes (100% de su sección)

El ancho de fisuras puede medirse mediante un comparador calibrado de bolsillo. Algunas terminologías que pueden utilizarse para definir al agrietamiento de manera que aquellas personas menos familiarizadas con la estructura puedan comprender la descripción se citan a continuación:

- ✓ Agrietamiento patrón
- ✓ Agrietamiento superficial
- ✓ Agrietamiento fino
- ✓ Agrietamiento con desplazamiento
- ✓ Agrietamiento térmico

También deben considerarse los factores asociados al agrietamiento que se presenten en la longitud como filtraciones, desprendimientos, desplazamientos diferenciales y otros.

3.2.5 ACI 224R. Control de la fisuración en estructuras de hormigón armado:

La siguiente tabla presenta una guía general que considera anchos de fisura razonables en la cara traccionada de estructuras de hormigón armado expuesto a condiciones típicas.

Debe ser utilizado como una guía de carácter general y en compañía de un criterio sólido del profesional.

Tabla 3.10. Valores de ancho de fisuras razonables para hormigón bajo cargas de servicio

Fuente. ACI 224,2001, p. 22)

Tabla 4.1 – Guía para anchos de fisura razonables*, hormigón armado bajo cargas de servicio

Condición de Exposición	Ancho de fisura	
	in.	mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,012	0,30
Productos químicos descongelantes	0,007	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0,006	0,15
Estructuras para retención de agua†	0,004	0,10

* Es de esperar que una parte de las fisuras de la estructura superarán estos valores. Con el tiempo, el porcentaje de fisuras que superan estos valores puede ser significativo. Estos son lineamientos generales para el diseño, que se deben utilizar juntamente con un sólido juicio profesional.
† Excluyendo tuberías sin presión.

3.2.6 UNE EN 13791 2020. Evaluación de la resistencia a compresión *in situ* en estructuras y elementos prefabricados de hormigón

3.2.6.1 Introducción:

Se contemplan dos situaciones para evaluar la resistencia *in situ*:

- Estimación de la resistencia característica a compresión *in situ* para una determinada región o para ubicaciones específicas.
- Evaluación de la clase de resistencia a compresión del hormigón colocado en una estructura en construcción si se presentan dudas sobre los resultados de los ensayos normalizados o la calidad de ejecución.

Algunas recomendaciones previas al inicio de los trabajos de se citan a continuación:

- Definir el objetivo de la evaluación
- Identificar las normas, técnicas de ensayos y de evaluación a ser aplicadas
- Determinar las regiones y ubicaciones de ensayos
- Cantidad de mediciones a realizarse en cada ubicación de testigo
- En caso de extracción de testigos, definir el diámetro y longitud a ser tomada, así como la longitud requerida.
- Establecer el método a emplear para preparar los extremos de testigos

Se proponen dos diagramas de flujo para facilitar la elección de las técnicas y capítulos de referencia de la norma UNE EN 13791.



Figura 3.1. Diagrama de flujo para la estimación de la resistencia característica a la compresión en regiones de ensayo y ubicaciones específicas.

Fuente. (UNE-EN 13791, 2021, p. 15)

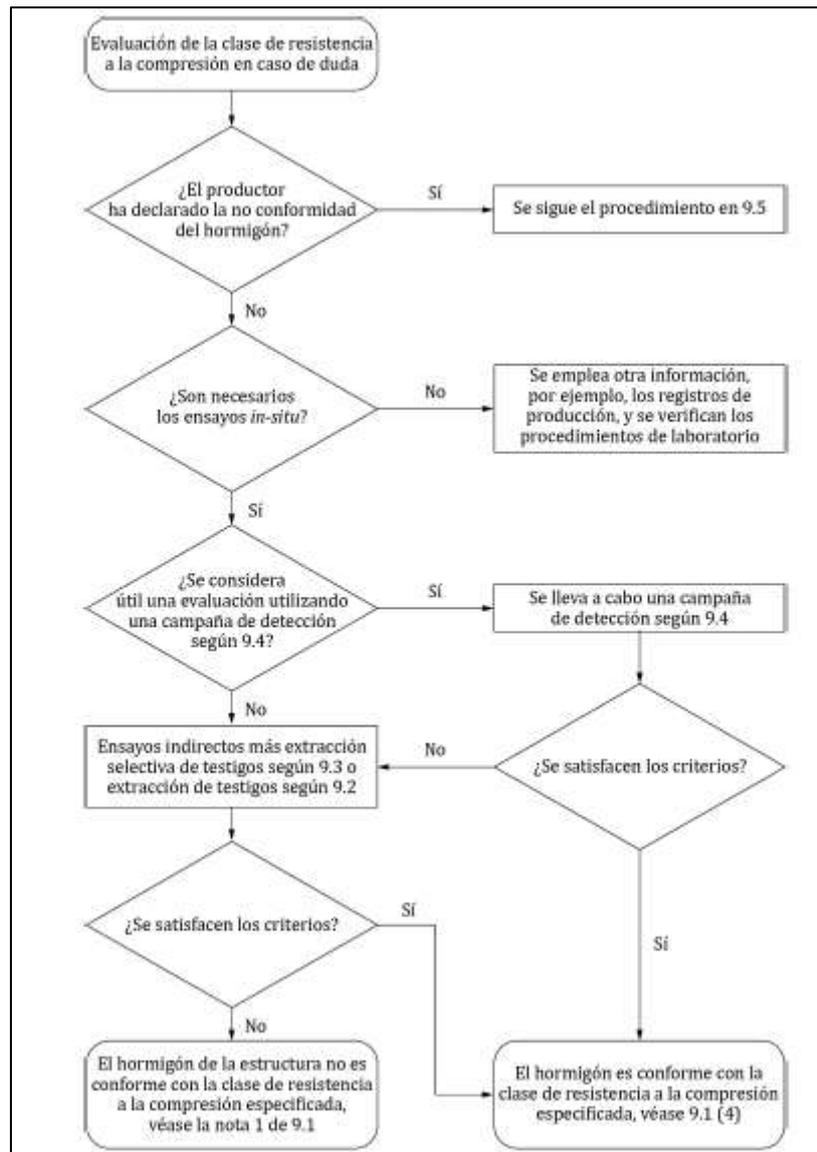


Figura 3.2. Diagrama de flujo para la evaluación de la clase de resistencia del hormigón para casos de duda

Fuente. (UNE-EN 13791, 2021, p. 16)

3.2.6.2 En cuanto a las regiones, ubicaciones y cantidad de ensayos:

3.2.6.2.1 Regiones de ensayo:

Cuando existan distintos hormigones en cuanto a su dosificación deben considerarse regiones separadas de ensayos. En caso que la resistencia del hormigón sea desconocida, deben se aplicados criterios ingenieriles para definir los grupos de elementos y seleccionar las regiones. Posteriormente con los resultados de los ensayos se comprobará la elección propuesta y se detectará la existencia de más de un hormigón.

Para este documento el concepto empleado es el de la región reducida de ensayo, que no debe contar con amasadas en las que se sospeche de diferencias significativas con contras amasadas que comprenden la misma región.

3.2.6.2.2 Ubicaciones de ensayo:

La cantidad de ubicaciones por región de ensayo varían de acuerdo al volumen de hormigón existente, motivo de ensayos y la confianza buscada en la estimación.

Las condiciones que deben ser consideradas en obra para definir la ubicación son:

- Ubicación general de la obra, manejo y traslado de equipos de ensayos
- Accesibilidad al área de estudio
- Nivel de seguridad para el personal de obra y de aquellos que circulan por la mismas.

Evitar las siguientes situaciones:

- Zonas fisuradas
- Secciones críticas o muy solicitadas
- Barras de acero

Además, se recomienda ubicar las barras de acero con el uso de un pachómetro o radar para evitar su presencia en las ubicaciones de ensayo.

En cuanto al número de mediciones individuales, varían de acuerdo con el método de ensayo como se explica en la tabla 3 de esta norma:

Tabla 3.11. Ubicación de ensayos relacionadas a tipos de ensayos

Fuente. (UNE-EN 13791, 2021, p. 19)

Ensayo	Ubicación	Región
Resistencia a la compresión sobre testigos (EN 12504-1)	El resultado de un ensayo puede ser la resistencia de un solo testigo, la resistencia media de los testigos si se extrae más de un testigo en la ubicación de ensayo, por ejemplo, cuando un testigo largo se divide en dos o más testigos más cortos. Véase también el capítulo 6 para conocer los requisitos para testigos con diámetros inferiores a 75 mm.	El número mínimo de resultados de ensayo válidos para estimar la resistencia característica a la compresión <i>in situ</i> de una región de ensayo es ocho, siempre que el diámetro de los testigos sea ≥ 75 mm, véase 8.1 (2), recomendando extraer testigos en al menos diez ubicaciones de ensayo, para tener en cuenta posibles valores atípicos. Para una región de ensayo reducida, se puede considerar un menor número de resultados de ensayo válidos, véase 8.1 (6). El número mínimo de resultados de ensayo válidos de testigos de ≥ 75 mm de diámetro para su uso en combinación con ensayos indirectos es tres, véase 8.3, extrayendo testigos de al menos cuatro ubicaciones de ensayo para tener en cuenta un posible valor atípico.
Índice de rebote ^a (EN 12504-2)	El resultado de un ensayo de acuerdo con la Norma EN 12504-2 es el índice de rebote y comprende la mediana de un mínimo de 9 lecturas válidas en una ubicación de ensayo.	Un estudio con esclerómetro en puntos regularmente espaciados mostrará variaciones en la dureza superficial del hormigón de la estructura e identificará partes de la región de ensayo en las que se deberían extraer testigos o sobre las que se deberían realizar investigaciones adicionales.
UPV ^a (EN 12504-4)	El resultado de un ensayo puede ser una sola medición de la velocidad de los impulsos ultrasónicos medida de forma directa o indirecta a través de una sección de hormigón, o la velocidad media de los impulsos ultrasónicos si se toma más de una medición en la ubicación de ensayo.	Un estudio de UPV en puntos regularmente espaciados mostrará variaciones en la densidad del hormigón de la estructura e identificará partes de la región de ensayo en las que se deberían extraer testigos o sobre las que se deberían realizar investigaciones adicionales.
<p>^a Ni el índice de rebote ni la velocidad de los impulsos ultrasónicos son mediciones directas de la resistencia a la compresión, pero cuando se calibran específicamente contra el hormigón utilizado en la estructura, pueden usarse para estimar la resistencia a la compresión <i>in situ</i>, véase el capítulo 8.</p>		

3.2.6.3 En cuanto a la extracción de testigos:

- La esbeltez luego del tallado debe ser de 2:1 o 1:1 y el diámetro ≥ 75 mm, a excepción de casos donde no sea práctico. Si se disponen de armaduras de refuerzo que no permiten este diámetro de extracción, se deben emplear diámetros iguales o superiores a 50 mm.
- En caso que el testigo contenga barras de acero en la dirección de la extracción o cercana a esta, es necesario rechazar el testigo y realizar una nueva extracción en la misma ubicación.
- Si se toman testigos de diámetro comprendido entre 50 mm y 75 mm, buscando definir la resistencia media y sin interés en la obtención de la estimación de la resistencia a compresión en cada ubicación, puede ser extraído un solo testigo en cada ubicación.
- *“Se ha constatado que, con un tamaño de árido superior a 20 mm, los testigos de esbeltez 2:1 de 100 mm de diámetro son aproximadamente un 7% más resistentes que los testigos de 50 mm de diámetro (véase la Norma EN 12504-1), pero no hay evidencia suficiente para cuantificar la diferencia en testigos de esbeltez 1:1 y por eso no se tiene en cuenta”* UNE -EN 13791, 2020, P 21. En testigos de diámetros más pequeños se presenta una mayor variabilidad en cuanto a la resistencia y por tanto se considera el aumento del número mínimo de testigos buscando igualar el nivel de confianza en el resultado del ensayo.

- Para lograr el mismo nivel de confianza del resultado de ensayo obtenido en una ubicación de ensayo con un testigo de diámetro ≥ 75 mm, se necesitan varios testigos de diámetro menor, aunque es posible también llegar a la misma confianza con la resistencia media de una región de ensayo, mediante el aumento del número de ubicaciones de ensayo y extrayendo un solo testigo de menor diámetro para cada ubicación.
- En la siguiente tabla se presentan los requisitos para definir la resistencia a compresión in situ en una ubicación de ensayo

Tabla 3.12. Número mínimo de valores de resistencia en base al diámetro del testigo

Fuente. (UNE-EN 13791, 2021, p. 21)

Requisito	Diámetro del testigo	
	50 mm ^a	≥ 75 mm
Relación altura : diámetro	Nominal: 1:1 ^b Rango permitido: 0,90:1 a 1,10:1	Nominal: 2:1 Rango permitido: 1,95:1 a 2,05:1
Número mínimo de valores de resistencia a la compre- sión sobre testigos en una ubicación de ensayo	3	1
Resistencia a la compresión in situ en una ubicación de ensayo ($f_{c,ib}$)	CLF ^c (media de valores de $f_{c, testigo 1:1}$)	media de valores de $f_{c, testigo 2:1}$

3.2.6.4 Consideraciones para la evaluación de un conjunto de datos

3.2.6.4.1 En cuanto a la evaluación de la región de ensayo para identificar las clases de resistencia del hormigón que se presentan:

Se debe utilizar toda la información recopilada relacionada al control de la producción y registros de obra, cuando se presenten dudas sobre la existencia de una sola resistencia a compresión en la región de ensayo, con eso pueden identificarse las regiones y ubicaciones que requieren una investigación específica.

Con los datos disponibles debe hacerse una revisión de la ubicación y verificar que los de resistencia no presenten anomalías que indiquen una región con más de una resistencia a la compresión.

Si tras la revisión anterior se comprueba que la región de ensayo dispone de dos resistencias a la compresión, se puede proceder de una de las siguientes opciones:

- ✓ Dividir los datos en regiones de ensayo considerando los requisitos mínimos de una región.
- ✓ Dividir los datos en dos conjuntos y definir si las resistencias medias son distintas mediante el uso de un contraste t.

En caso de que se demuestre que los valores de resistencias medias son significativamente distintos, deben dividirse los datos en regiones de ensayos, en caso contrario considerar una sola región de ensayos para el conjunto de datos.

3.2.6.4.2 En cuanto a la evaluación de resultados individuales para una región de ensayo:

Cuando se tiene valores de resultados inusualmente altos o bajos para un conjunto de datos, debe realizarse una verificación para definir si son valores estadísticamente atípicos. En el anexo A.6 de la norma UNE 13791:2020 se establecen indicaciones para el tratamiento de valores atípicos.

3.2.6.5 En cuanto a la estimación de la resistencia a compresión para evaluar una estructura existente:

3.2.6.5.1 Cuando se analizan datos de ensayos sobre testigos únicamente:

Se revisan que los resultados de la resistencia a compresión in situ sean válidos. Aquellos valores válidos deben emplearse para la estimación media de la resistencia a compresión in situ y la desviación estándar de la muestra de la región en estudio.

A excepción de casos de regiones de ensayo reducidas, para estimar la resistencia característica in situ debe considerarse como mínimo:

Ocho resultados de ensayos válidos de resistencia a compresión para testigos de diámetro ≥ 75 mm. o

Doce resultados de ensayos válidos de resistencia a compresión in situ, basado cada uno en un solo testigo de 50 mm de diámetro, para hormigones con tamaño de árido máximo ≤ 16 mm.

La resistencia característica a compresión in situ se estima mediante el menor de los valores obtenido de las siguientes formulas:

$$f_{ck, is} = f_{c, m(m)is} - k_n s$$

Ó

$$f_{ck, is} = f_{c, is, lowest} +$$

k_n se toma de la tabla 3.13

M: se toma de la tabla 3.14

Tabla 3.13. Valos de k_n para las formulas de f_{ck}

Fuente. (UNE-EN 13791, 2021, p. 25)

n	8	10	12	16	20	30	∞
k_n	2,00	1,92	1,87	1,81	1,76	1,73	1,64

Tabla 3.14. Valos de M para las formulas de f_{ck}

Fuente. (UNE-EN 13791, 2021, p. 25)

Valor de $f_{c, is, lowest}$ MPa	Margen MPa
≥ 20	4
$\geq 16 < 20$	3
$\geq 12 < 16$	2
< 12	1

Para la desviación estándar de la muestra se toma el mayor de los siguientes valores:

- ✓ Desviación estándar de la muestra calculada
- ✓ Valor que proporciona un coeficiente de variación del 8%

En caso de tener una región de ensayo reducida donde se cuenten con un máximo de tres elementos y un volumen total de 10 m³, se realizan al menos tres extracciones con diámetro ≥75 mm, considerando un testigo para cada elemento y posteriormente se calcula la resistencia a compresión in situ.

Además, la norma da las siguientes indicaciones:

- ✓ *Si las ubicaciones de ensayo representan un hormigón que va a permanecer en la estructura, se toma el valor más bajo de los tres o más testigos (siempre que el rango de los resultados de ensayo no sea más del 15% del valor medio) como la resistencia a la compresión in situ ($f_{ck, is}$) con fines de llevar a cabo la evaluación estructural.*
- ✓ *Si el rango de los resultados es más del 15% de la media, es una indicación de que se debería obtener más información sobre la región de ensayo.*

3.2.6.5.2 Cuando se trata de una combinación de datos de ensayos indirectos y datos de ensayos sobre testigos

Se recomienda la obtención de al menos 10 pares de resultados de ensayos en donde las ubicaciones de testigos deben cubrir todo el rango de ensayos indirectos, teniendo en cuenta los extremos si es estructuralmente segura la extracción en estas zonas.

En la medida de lo posible se recomienda obtener datos sobre testigos suficientes que permita establecer una correlación específica entre ensayos indirectos y resistencia a compresión in situ.

- Para estimar la resistencia característica a compresión in situ para una región de ensayo, la norma recomienda el siguiente procedimiento:

$$f_{c,m(m)is} = \sum (f_{c,is,reg})/m$$

$$s = \sqrt{s_c^2 + s_e^2}$$

siendo:

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f_{c,is,reg} - f_{c,m(m)is})^2}{m - 1}}$$

$$s_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{c,is} - f_{c,is,reg})^2}{n - 1}}$$

$$n_{eff} = \frac{(s_c^2 + s_e^2)^2}{\frac{s_c^4}{n - 2} + \frac{s_e^4}{m - 1}}$$

Donde:

S: estimación de la desviación estándar de la resistencia a compresión in situ

Sc: desviación estándar residual, medida de la dispersión de datos de resistencia en testigos (se toma el valor calculado o 2.0 MPa, el que sea mayor)

Se: desviación estándar considerando todos los valores de resistencia estimados

Fck, is :es la resistencia característica a compresión in situ.

Fc,m(m)is: Resistencia media a compresión in situ para el conjunto "m" de ubicaciones de ensayos

Fc,is,lowest: menor valor para el conjunto de valores obtenidos de fci

Fc,is : resistencia a compresión de un testigo para una ubicación de ensayo

Fc,is,reg: valor de ensayo indirecto convertido a la resistencia a compresión luego de la correlación.

n: número de pares de resultados de ensayos utilizados en la correlación (se toma para la tabla 3.13 neff +1)

m: número de valores de resistencia estimados

Para la estimación de la resistencia característica se utilizan las mismas fórmulas que las mencionadas en el análisis de datos sobre testigos únicamente y se reemplaza "n" por "neff+1" redondeando al valor entero más cercano.

$f_{c,is,min}$ es la resistencia estimada más baja o la menor de las resistencias medidas sobre testigos.

3.2.6.6 En cuanto a la evaluación de la clase de resistencia a compresión cuando se presentan dudas:

El término "duda" puede referirse a:

- ✓ Resistencia a la compresión inferior a la requerida obtenida de muestras destinadas al control de producción que llevan a una no conformidad
- ✓ Resistencia a la compresión inferior a la requerida obtenida de ensayos de identificación
- ✓ Inconvenientes durante el proceso de ejecución

Para la investigación del hormigón, éste debe dividirse en regiones de ensayo que podrían coincidir con los lotes empleados en los ensayos de identificación. La superficie de la región no debería exceder los 180 m³ aproximadamente.

Para decidir los procedimientos necesarios para evaluar la resistencia a compresión del hormigón colocado, deben participar todas las partes involucradas. Buscando reducir costos, se recomienda la elección de las opciones en orden de menor a mayores recursos, de la siguiente manera:

- ✓ Campaña de detección
- ✓ Ensayos indirectos sobre testigos seleccionados
- ✓ Empleo de datos de ensayos sobre testigos

Cuando se requieran ensayos de testigos, entre el usuario y el productor deben acordar el diámetro y relación de esbeltez, así como el lugar de ejecución del ensayo a compresión.

3.2.6.6.1 En cuanto al empleo de datos de ensayos sobre testigos:

Las regiones deben quedar divididas en volúmenes aproximados de 30m³. En caso de contar con un volumen menor puede tratarse como uno solo, si el hormigón suministrado fue en un solo día y no se dispone de información que indique la existencia de una amasada distinta a las demás.

En la siguiente tabla se presentan las cantidades mínimas de ubicaciones de ensayo para cada volumen.

Tabla 3.15. Valores mínimos de ubicaciones de ensayos en base al número de regiones.

Fuente. (UNE-EN 13791, 2021, p. 31)

Número de volúmenes de aproximadamente 30 m ³ en la región de ensayo	Número mínimo de ubicaciones de ensayo para cada volumen ^a	Media de los resultados de ensayos sobre testigos para la región de ensayo ^b	Menor resultado de ensayo ^{b,c}
1 ^d	3	—	≥ 0,85 ($f_{ck,apac} - M$)
2 a 4	2	≥ 0,85 ($f_{ck,apac} + 1$)	≥ 0,85 ($f_{ck,apac} - M$)
5 a 6	2	≥ 0,85 ($f_{ck,apac} + 2$)	≥ 0,85 ($f_{ck,apac} - M$)

a Véase el capítulo 6 para conocer el número mínimo de testigos para obtener un resultado de ensayo en cada ubicación de ensayo.
 b La resistencia del testigo puede expresarse como $f_{c,testigo 1:1}$ o como $f_{c,testigo 2:1}$ dependiendo del valor seleccionado de $f_{ck,apac}$
 c En donde $M = 4$ MPa para la clase de resistencia a la compresión C20/25 o superior. Para C16/20, C12/15 y C8/10, el margen M se debe reducir a 3, 2 y 1, respectivamente.
 d Siempre que se trate con un solo volumen, véase 9.2 (1).

La conformidad de la resistencia puede ser aceptada cuando se cumplen los dos criterios descritos en la tabla anterior.

3.2.6.6.2 En cuanto a los ensayos indirectos más resultados sobre testigos seleccionados:

La superficie de la región del hormigón en investigación no debería exceder los 180 m³ aproximadamente.

Los ensayos deben realizarse mediante el método indirecto, considerando las cantidades de ubicaciones de ensayos mostradas en la siguiente figura. Se recomienda tomar una medición de ensayo indirecto en ubicaciones que se encuentren dentro de las regiones de ensayo que correspondan a cada amasada.

Tabla 3.16. Cantidades mínimas de ubicaciones para ensayos indirectos.

Fuente. (UNE-EN 13791, 2021, p. 32)

Tabla 9 - Número mínimo de ubicaciones de ensayo para mediciones mediante ensayos indirectos en la región de ensayo

Número de volúmenes de aproximadamente 30 m ³ en la región de ensayo ^a	Número mínimo de ubicaciones de ensayos indirectos
1 ^b	9
2 a 4	12
5 a 6	20

a Si el volumen comprende una superficie grande, los ensayos indirectos deberían aumentarse para que sean representativos de las variaciones dentro de la región de ensayo.
 b Siempre que se trate con un solo volumen, véase 9.2 (1).

Tabla 3.17. Número mínimo de ubicaciones de ensayos para la extracción de testigos.

Fuente. (UNE-EN 13791, 2021, p. 32)

Número de volúmenes de aproximadamente 30 m ³ en la región de ensayo	Número mínimo de ubicaciones de ensayo para la extracción de testigos ^a	Media de los resultados sobre testigos en las ubicaciones más próximas a la mediana del índice de rebote o a la media de la UPV en la región de ensayo ^b	Menor resultado de ensayo ^{b,c}
1 ^d	Un testigo en cada uno de los dos valores más bajos de ensayos indirectos en la región de ensayo	—	≥ 0,85 ($f_{ck,apoc} - M$)
2 a 4	Un testigo en el valor más bajo de los ensayos indirectos en la región de ensayo y un testigo en cada una de las dos ubicaciones de ensayo más próximas a la mediana del índice de rebote o a la media de la UPV en la región de ensayo	≥ 0,85 ($f_{ck,apoc} + 1$)	≥ 0,85 ($f_{ck,apoc} - M$)
5 a 6	Un testigo en el valor más bajo de los ensayos indirectos en la región de ensayo y un testigo en cada una de las dos ubicaciones de ensayo más próximas a la mediana del índice de rebote o a la media de la UPV en la región de ensayo	≥ 0,85 ($f_{ck,apoc} + 2$)	≥ 0,85 ($f_{ck,apoc} - M$)

3.2.7 Monografía M-33. ACHE. Evaluación de estructuras de hormigón armado

3.2.7.1 Aspectos importantes a tener en cuenta a la hora de evaluar la durabilidad del hormigón de una estructura existente:

Ante los cambios de uso o modificaciones que puedan llevarse a cabo en una estructura existente, cabe la posibilidad de afectar a las condiciones de exposición ambiental del hormigón. Es por ello que se debe considerar cada aspecto que influya en la durabilidad a partir de la intervención.

3.2.7.2 En cuanto a la durabilidad del hormigón:

Se consideran las posibles acciones sobre el hormigón relacionadas a un potencial deterioro. Estas se deben principalmente a la acción combinada de distintos agentes agresivos, que existen de manera general en cuatro grandes categorías:

- ✓ Acciones mecánicas
- ✓ Acciones físicas
- ✓ Acciones químicas
- ✓ Acciones biológicas

3.2.7.3 En cuanto a la durabilidad de la armadura:

El ataque sobre las armaduras es otra de las consecuencias directas que aporta significativamente en la degradación del hormigón. Es por ello que se debe considerar la potencial pérdida del recubrimiento del hormigón, y tener en cuenta que sin esta protección la probabilidad de corrosión es aún mayor.

Los tres factores más importantes que influyen en la degradación del hormigón en relación a la armadura son:

- ✓ La carbonatación del hormigón
- ✓ Difusión de cloruros
- ✓ Corrosión de las armaduras

3.2.7.4 Carbonatación del hormigón:

Se comprueba mediante el empleo de una disolución de fenoftaleína al 1%. Este indicador de alcalinidad al ser aplicado con un spray o pincel puede llevar al hormigón a tomar una coloración rosa o no tomar color alguno (indica que el hormigón está carbonatado). Con este ensayo se comprueba si el pH del hormigón ha descendido y no es capaz de proteger a las armaduras de acero.

3.2.7.5 Difusión de cloruros

Se produce este fenómeno principalmente en atmósferas marinas, sin embargo se puede dar cuando el agente agresivo está presente en los áridos.

Es necesario este estudio para garantizar que la composición de la mezcla de hormigón presenta las características relacionadas a la durabilidad que satisfagan las exigencias del proyecto. Si la presencia de cloruros es superior al límite admisible, podría haber riesgos de corrosión.

La corrosión se da cuando las concentraciones de iones cloruros en la superficie del acero supera el nivel crítico, dando lugar a fisuras en el recubrimiento en ocasiones.

En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de cloruros en el cemento de la mezcla de hormigón relacionados al riesgo de corrosión.

Tabla 3.18. Riesgo de corrosión en función al porcentaje de cloruros.

Fuente. (*Evaluación de estructuras de hormigón armado.*, 2019, p. 158)

Cl ⁻ % de cemento	Riesgo de Corrosión
> 2.0	Seguro
1.0 – 2.0	Probable
0.4 – 1.0	Posible
< 0.4	Imposible

El Código estructural, expone lo siguiente “ En el caso de hormigones expuestos a ambientes XD o XS los valores anteriores se reducirán al 0,1% del peso de cemento para obras de hormigón pretensado y 0,2% para obras de hormigón armado ” (2021, p.79)

Las clases de exposición XS y XD se refieren al caso de corrosión incluida por cloruros de origen marino y no marino respectivamente. En la tabla 27.1.a del código estructural se describen estos ambientes con mayor detalle.

3.2.7.6 Corrosión de la armadura

Se exponen dos métodos utilizados para medir la presencia de la corrosión:

Potencial de media celda: los resultados indican la probabilidad de corrosión para un punto específico y en un cierto momento. Se recomienda una monitorización del potencial de media celda a largo plazo para mejores interpretaciones.

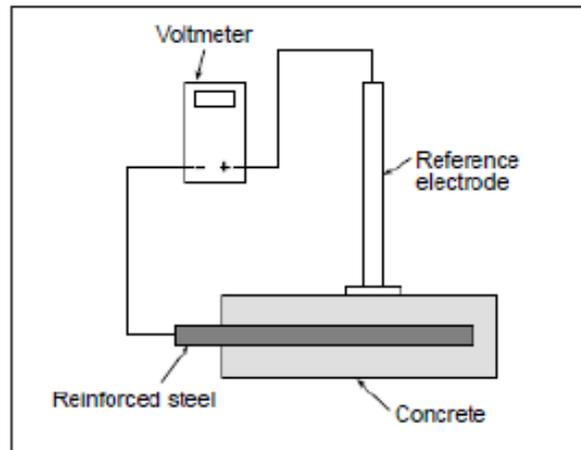


Figura 3.3. Esquema de ensayo de potencial de media celda.

Fuente. (*Evaluación de estructuras de hormigón armado*, 2019, p. 160)

Los resultados pueden ser interpretados con la siguiente tabla:

Tabla 3.19. Criterio de a ASTM para la interpretación del potencial de media celda.

Fuente. (*Evaluación de estructuras de hormigón armado*, 2019, p. 160)

Criterio ASTM de interpretación del potencial de media pila	
Potencial del acero versus electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre	Probabilidad de corrosión
Más positivo que -200 mV	Menor del 10%
Entre -200 mV y -350 mV	Desconocido
Más negativo que -350 mV	Más del 90%

Determinación de la resistividad eléctrica del hormigón: este parámetro depende fundamentalmente del contenido de humedad y los electrolitos presentes en el hormigón además de la composición y estructura de poros de hormigón.

En la medición se emplea el método de "4 puntas" o "técnica de Wenner".

Los resultados pueden ser interpretados con la siguiente tabla:

Tabla 3.20. Valores de resistividad eléctrica asociada a la agresividad del hormigón

Fuente. (*Evaluación de estructuras de hormigón armado*, 2019, p. 162)

Rango resistividad eléctrica (ρ) ($k\Omega\text{cm}$)	Agresividad del hormigón
> 200	Bajo
20 a 200	Moderado
< 20	Alto

Para estructuras existentes, se recomienda como mínimo la valoración de la situación mediante los siguientes trabajos:

- Ensayos para determinar la carbonatación del hormigón
- Ensayos para determinar el recubrimiento de las armaduras
- Realizar una inspección de tallada con el retiro de recubrimiento para verificar el estado en que se encuentra y si se presentan pérdidas en secciones de armaduras.

4 Propuesta del modelo de gestión para el diagnóstico de estructuras

El modelo propuesto cuenta con tres fases principales:

- ✓ Fase inicial
- ✓ Fase de estudio
- ✓ Fase de diagnóstico

En cada fase se plantean los procedimientos que deben seguirse a fin de lograr obtener toda la información necesaria que permita comprender el origen de los problemas y de esta forma seleccionar adecuadamente los trabajos que deban llevarse a cabo en campo que posteriormente deben ser analizados y complementados con otros métodos si fuese el caso, para finalmente visualizar los resultados conseguidos y realizar el correcto diagnóstico en la estructura.

4.1 Fase inicial

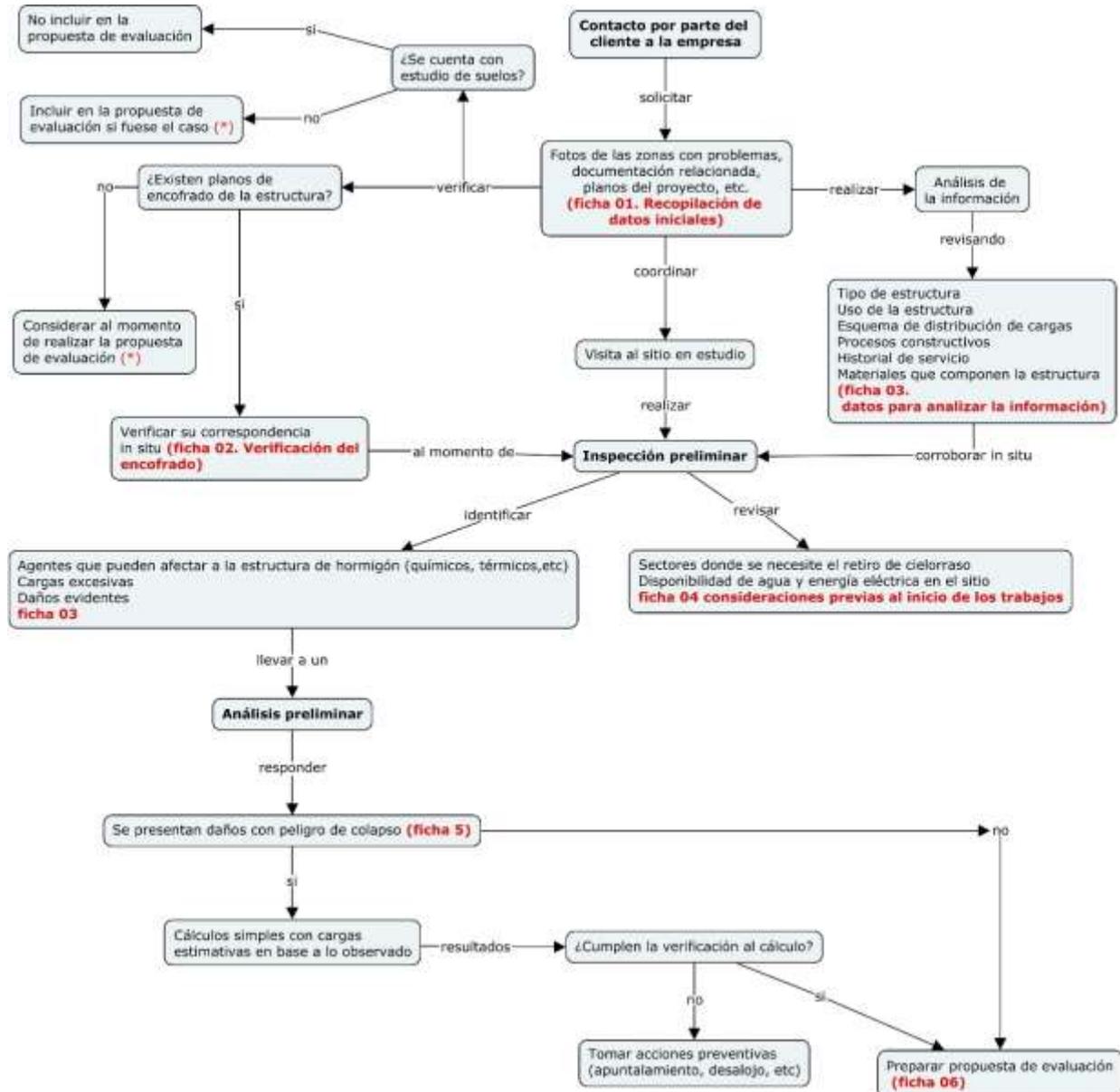


Figura 4.1. Esquema de procesos de fase inicial del modelo propuesto.

Fuente. Elaboración propia

El objetivo de esta fase es conocer la información que se dispone del proyecto en estudio que complementado con los trabajos de la inspección preliminar, permita realizar un diagnóstico previo de la situación que presenta la estructura y proponer los trabajos correspondientes a ejecutar en campo, estos pueden incluir tanto ensayos in situ como actividades de verificación en la estructura.

Los ensayos en campo buscan conocer ciertas características de la estructura que servirán para identificar discrepancias en relación a los valores que indican el proyecto inicial o para detectar anomalías que se traducen en resultados encontrados fuera del rango razonable establecido por las distintas normativas utilizadas para la evaluación de estructuras.

4.1.1 Recopilación de la información

En esta fase se propone primeramente la solicitud de datos preliminares que son necesarios al inicio de la comunicación por parte del cliente. Estos datos se basan en todos aquellos necesarios para crear el escenario inicial de la situación que presenta la estructura, el problema que se busca solucionar y la información relacionada al proyecto que dispone el comitente.

Como existen eventualmente casos en donde la información preliminar queda incompleta por diferentes motivos, se propone la **ficha 01** de Recopilación de datos iniciales de manera a efectivizar la gestión en este proceso inicial. Posteriormente esta ficha se podrá utilizar para el chequeo de la información que se corresponda con la brindada por el cliente y consultar los aspectos que no se correspondan a la situación dada si fuese el caso.

La **ficha 02** puede utilizarse en esta etapa si se dispone del plano de encofrado de la estructura, con ello verificar si la geometría de los elementos in situ se corresponden con la especificada en el proyecto, además de identificar la correcta ubicación y disposición de estos elementos..

4.1.2 Análisis preliminar de la información

Tras haber estudiado la información preliminar y visualizado el escenario inicial, se requiere profundizar en mayor medida sobre las características de la estructura. Para ello es necesario recopilar información adicional y más específica que permita posteriormente un correcto análisis de las condiciones de la estructura. Muchos de estos aspectos no siempre se tienen en cuenta inicialmente y puede darse el caso de realizar varias visitas al sitio para verificar la información completa. La **ficha 03** se propone a fin de mejorar la gestión en la recolección de datos de distintos tipos que se requieren para las actividades posteriores en el diagnóstico de estructuras.

4.1.3 Inspección previa

Una vez obtenida la información del proyecto y los datos preliminares necesarios, se requiere de una inspección preliminar en el sitio en estudio a fin de realizar ciertas verificaciones relacionada a la correspondencia de documentación con el escenario existente.

En ocasiones, el cliente puede contar con toda la documentación solicitada relacionada al proyecto, sin embargo, ésta no siempre se corresponde con las características encontradas en obra, es por eso que se requiere contrarrestar la información recibida con la situación existente para definir si se requiere una nueva investigación de ciertos parámetros estructurales o si es posible utilizar los valores proveídos para la evaluación correspondiente.

Un documento importante para la evaluación estructural es el plano de encofrado, se requiere de una buena inversión de tiempo para su confección detallada, en caso que la información proveída por el cliente no se corresponda con lo encontrado en el lugar, se debe considerar en la propuesta de evaluación un rubro dedicado al relevamiento geométrico.

4.1.4 Otros aspectos preliminares

Existen además aspectos importantes que pueden alterar ciertas características de la estructura que deben ser identificados al momento de la primera visita al sitio para obtener un mejor diagnóstico inicial de las condiciones existentes. Estos aspectos pueden estar ligados a agentes químicos, térmicos, físicos y otros relacionados. Si bien pueden requerirse de ensayos en campo y otros procedimientos para la identificación adecuada, algunos agentes se manifiestan mediante daños en la estructura que se observan a simple vista o bien pueden registrarse presentarse casos relacionados a bruscos de temperatura, ambientes expuestos a sustancias agresivas, etc.

Además de la necesidad del registro de los aspectos tratados en el párrafo anterior, puede ser provechoso verificar los recursos disponibles y las condiciones de accesibilidad que deban tratarse al momento de ejecutar los trabajos en campo, de manera a reducir el número de visitas al sitio que posteriormente se requieran en caso de buscar complementar alguna información previa al inicio de las actividades. En la **ficha 03** se contemplan además los aspectos que deben registrarse para el diagnóstico preliminar y en la **ficha 04** las consideraciones relacionadas a la disponibilidad de recursos en el sitio.

4.1.5 Diagnóstico previo

Las fichas propuestas permitirán organizar la información recopilada y apreciar el escenario en cuanto a las condiciones preliminares de la estructura, lo cuál es necesario para un análisis adecuado que lleve al diagnóstico preliminar correspondiente.

Tras el análisis se definen medidas de actuación si fuese el caso, dependiendo de la existencia o no de daños con peligro de colapso, que se describen en la **ficha 05**, los cuales hacen referencia a aquellas patologías presentes en los elementos estructurales que cuentan con poca capacidad de aviso antes del fallo. Se complementa esta revisión con una verificación simple mediante cargas estimativas a fin de corroborar si la estructura está soportando solicitaciones superiores a su capacidad máxima frente a los esfuerzos.

En caso de que la verificación preliminar compruebe un posible fallo, se requerirán el desalojo y apuntalamiento del sector previo al inicio de la evaluación de la estructura.

Puede establecerse que, cuando se verifique:

- ✓ El daño estructural menor al sustancial (**apartado 3.2.3.7, capítulo 3**).
- ✓ Las estructuras dañadas presentan defectos que no requieren refuerzo según la verificación

Pueden procederse a los trabajos de reparaciones sin la necesidad de un análisis, si además se confirma que:

- ✓ Se presenta un comportamiento estructural aceptable tanto de las condiciones actuales de la estructura como en el transcurso de los años.

- ✓ No está previsto el cambio de uso o modificaciones adicionales en la estructura actual.

Debe tenerse en consideración que pueden realizarse reparaciones relacionadas a la durabilidad y la capacidad de servicio sin la necesidad de verificar miembros y estados límites de la capacidad, cuando se establezca que la estructura es estructuralmente aceptable.

Se considera un desempeño estructural aceptable cuando el comportamiento pasado y presente ha sido satisfactorio y luego de las observaciones no existen indicios de falla estructural que sobrepasen los niveles esperados.

Si se presentan condiciones estructurales potencialmente peligrosas, se requerirán trabajos de apuntalamiento o medidas relacionadas al desalojo del sitio.

Estas condiciones estructurales potencialmente peligrosas se traducen en inestabilidades, potencial colapso de componentes o piezas superiores, riesgos de caídas o potencial riesgo de fallas bajo cargas de servicio.

Cuando no existan evidencias de daño o deterioro en miembros similares existentes en otro sector de la estructura que ha requerido reparación, no es necesario realizar la evaluación de estos miembros, a excepción de que existan condiciones potencialmente peligrosas.

4.1.6 Informe preliminar

En caso de que el cliente solicite la realización de un informe preliminar ya sea por cuestiones relacionadas a las exigencias de la empresa fiscalizadora del proyecto o por motivos relacionados, pudiese presentarse de forma resumida la información referente al diagnóstico preliminar, se propone el siguiente contenido del documento:

Contenido del informe preliminar

- ✓ Antecedentes
- ✓ Información disponible
- ✓ Resultados obtenidos de la inspección preliminar
- ✓ Análisis preliminar de la situación encontrada
- ✓ Conclusiones

4.1.7 Propuesta de evaluación

Finalmente, se elaborará la propuesta de evaluación estructural, donde se contemplen los trabajos necesarios para la investigación requerida en base al análisis previo realizado. En la **ficha 06** se presenta una propuesta de actividades relacionadas a la evaluación estructural basado en el problema existente en cada caso.

4.1.8 Herramientas de gestión propuestas en la fase inicial

Tabla 4.1 Ficha 01. Propuesta en la fase inicial del modelo.

Fuente. Elaboración propia.

Ficha preliminar/Recopilación de datos iniciales							
Indicar el motivo de la llamada	Solicitar	Disponen		Indicar con una "x" en la casilla		Consultar	Observaciones
				Tipo de estructura	Tipo de uso		
Cambio de uso de la estructura	planos del proyecto modificado si lo hubiera	si	no	edificio	oficinas	niveles que serán afectados	
		si	no		departamentos	tipo de uso a darle a la estructura existente	
	planos del proyecto actual	si	no	local comercial	salon de eventos		
		si	no	centro educativo	centro de salud		
Estructura afectada por incendio	fotografías de la estructura actual	si	no	edificio	industria	ubicación de la estructura	
		si	no		vivienda familiar	oficinas	
	planos del proyecto actual	si	no	edificio	departamentos	niveles afectados	
		si	no		local comercial	salon de eventos	
Presencia de daños importantes en la estructura	fotografías de la estructura afectada	si	no	edificio	centro de salud	ubicación de la estructura	
		si	no		industria	niveles afectados	
	planos del proyecto actual	si	no	edificio	departamentos	antecedentes de refuerzos o modificaciones en la estructura realizadas	
		si	no		local comercial	salon de eventos	
Aumentar el número de niveles de la estructura existente	planos del proyecto modificado si lo hubiera	si	no	edificio	centro educativo	uso a darle a los nuevos niveles	
		si	no		centro de salud	ubicación de la estructura	
	planos del proyecto actual	si	no	edificio	industria	niveles	
		si	no		vivienda familiar	ubicación de la estructura	
Valores de resistencia del hormigón inferiores a la requerida acorde al proyecto	planilla de resultados de ensayos de rotura	si	no	edificio	oficinas	niveles y sectores afectados	
		si	no		departamentos	elementos que no cumplen con la estructura	
	documentación de la resistencia requerida en el proyecto	si	no	edificio	local comercial	ubicación de la estructura	
		si	no		salon de eventos	centro educativo	
planos del proyecto actual	si	no	edificio	centro de salud	ubicación de la estructura		
	si	no		vivienda familiar	industria		

Tabla 4.2 Ficha 02. Propuesta en la fase de estudio del modelo

Fuente. Elaboración propia.

Ficha /Relevamiento geométrico	
Dibujar	Forma geométrica en planta de la estructura (rectangular, cuadrangular, polígono irregular)
	División en áreas menores (en caso de contar con superficies muy amplias o irregulares)
Ubicar (en cada área subdividida)	Pilares exteriores
	Vigas perimetrales
	Losas en voladizo
	Vigas en voladizo
	Pilares interiores
	Vigas interiores
	Losas interiores
	Huecos/Ductos
	Losas rebajadas
	Cajas de escalera
Caja de ascensor	
Medir (en cada área subdividida)	Dimensiones externas de cada lado de la planta
	Sección de pilares exteriores
	Sección de vigas perimetrales
	Separación de pilares exteriores
	Espesor de losas en voladizo
	Dimensiones de vuelos de losas
	Longitud de vuelo de vigas
	Sección de vigas en voladizo
	Sección de pilares interiores
	Sección de vigas interiores
	Separación de pilares interiores
	Espesores de losas interiores
	Longitud de vigas
	Dimensiones de huecos/ductos
	Dimensiones en planta de caja de escalera
	Dimensiones en planta de caja de ascensor
Espesor de caja de escalera	
Espesor de caja de ascensor	
Altura de piso a losa	
Altura de rebaje de losas	

Tabla 4.3 Ficha 03. Propuesta en la fase inicial del modelo

Fuente. Elaboración propia.

Ficha de recopilación de información para el análisis	
Datos administrativos	Cliente:
	Nombre o razón social:
	Ruc:
	Teléfono:
	Correo:
Datos de la estructura	Fecha de la visita:
	Nombre del edificio:
	Número de pisos:
	Número de subsuelos:
	Año de construcción:
	Normativa de cálculo empleada:
Información disponible	Estudio de suelos:
	Planos arquitectónicos:
	Memoria de cálculo:
	Detalles de armado:
	Plano de fundaciones:
Materiales/ Terminaciones	Techo/Cubierta:
	Mampostería interior:
	Mampostería en fachada:
	Tabiquería:
	Cielorraso:
	Piso:
Antecedentes / fenómenos ocurridos	Inundaciones:
	Incendios:
	Desmoronamientos:
	Cambios bruscos de temperatura:
Antecedentes estructurales	Cambios en el proceso constructivo
	Parada de obra por un periodo importante

Tabla 4.4 Ficha 4. Propuesta en la fase de estudio del modelo

Fuente. Elaboración propia.

Ficha preliminar/Aspectos previos al inicio de los trabajos				
Categoría	Aspecto a verificar	Indicar		Observaciones
Condiciones de acceso	Disponibilidad para acceder a todos los sectores en estudio	Si	No	
	Horarios y días de la semana en que puede ser inspeccionada la estructura			
	Necesidad del retiro de cielorraso	Si	No	
Recursos disponibles	Disponibilidad de agua en el predio	Si	No	
	Disponibilidad de energía eléctrica en el predio	Si	No	
	Espacio disponible para depósito provisorio	Si	No	
	Disponibilidad de iluminación adecuada para la inspección	Si	No	
Verificaciones previas	Altura de piso a techo en cada nivel			
	Distancia aproximada del sitio en estudio a la fuente de energía			
Fenómenos presentes	Atmósfera con agentes agresivos (zona industrial)	Si	No	
	Sales fundentes /Piscinas	Si	No	
	Variaciones térmicas	Si	No	
	Variaciones de humedad	Si	No	
	Fugas en instalaciones	Si	No	
	Fallos en sistemas de permeabilidad	Si	No	
	Acumulación de cargas importantes	Si	No	

Tabla 4.5 Ficha 5 Daños con peligro de colapso.

Fuente. Elaboración propia

Tipo de daño	Fuente	Referencia
Fisuración en pilares por agotamiento de la resistencia del hormigón	Patologías de estructuras de hormigón armado y pretensado (p. 45), por J. Calavera, 2005	A.7.1.
Fisura en centro de vano por rotura frágil en flexión simple	Patologías de estructuras de hormigón armado y pretensado (p. 49), por J. Calavera, 2005	A.8.1
Fisura en una pieza sometida a flexión con cuantía alta	Patologías de estructuras de hormigón armado y pretensado (p. 51), por J. Calavera, 2005	A.8.3
Fisura en una pieza sometida a flexión con cuantía supracrítica	Patologías de estructuras de hormigón armado y pretensado (p. 52), por J. Calavera, 2005	A.8.4.
Fisuras por aplastamiento del hormigón en pilar	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.171) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 4.1
Fisuras por cortante en pilar	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.187) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 4.5
Fisuras horizontales por pandeo en pilar	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.186) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 4.4
Fisuras a 45º por cortante en vigas	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.226) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 5.3
Fisuras horizontales en vigas por aplastamiento del hormigón	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.237) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 5.7
Fisura en viga de tracción con cambio de inclinación	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.231) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 5.4
Fisura en viga por torsión con abertura en zona de tracción	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.236) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 5.6
Fisuras en losas por punzonamiento	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.244) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 6.9

Tabla 4.6 Ficha 06. Propuesta en la fase inicial del modelo

Fuente. Elaboración propia.

Ficha / Propuesta de trabajos de evaluación							
Problemas que presenta		Estructura en construcción		Estructura existente			
		Presencia de fisuras / Defectos constructivos evidentes	Modificaciones del proyecto	Presencia de fisuras / Defectos constructivos evidentes	Incendio	Modificaciones del proyecto / cambio de uso	Problemas de asentamiento
Trabajos a realizar							
Inspección de la estructura	Relevamiento geométrico			*	*	*	*
	Relevamiento de daños	x	x	x	x	x	x
	Medición del espesor de fisuras	x	x	x	x	x	x
	Medición de la profundidad de fisuras	x	x	x	x	x	x
Evaluación de la resistencia	Esclerometría	x	x	x		x	x
	Pachometría	x	x	x	x	x	x
	Ultrasonido	x	x	x	x	x	x
	Extracción de testigos	x	x	x	x	x	x
	Georadar	x	x	x	x	x	x
	Cálculo estructural	x	x	x	x	x	x
Evaluación de la durabilidad	Carbonatación			x		x	x
	Potencial de corrosión			x	x	x	x
	Resistividad eléctrica			x	x	x	x
Estudios de fundaciones	Verificación de las fundaciones					x	x
	Estudio de suelos					*	*
	Ensayos de integridad					x	x

(*) Incluir en la propuesta si no se cuenta con esta documentación del proyecto

4.2 Fase de estudio

Previamente al inicio de los trabajos de evaluación tras la aprobación de la propuesta, se requieren algunas comprobaciones de manera a organizar el equipo de trabajo y los recursos que serán necesarios para la ejecución adecuada de actividades.

La revisión de estos aspectos permitirá proponer la fecha de inicio de los trabajos para poner al conocimiento del cliente y coordinar los últimos detalles que no hayan sido previstos anteriormente. En la **figura 4.2** se propone el procedimiento a seguir ante la aprobación por parte del cliente.

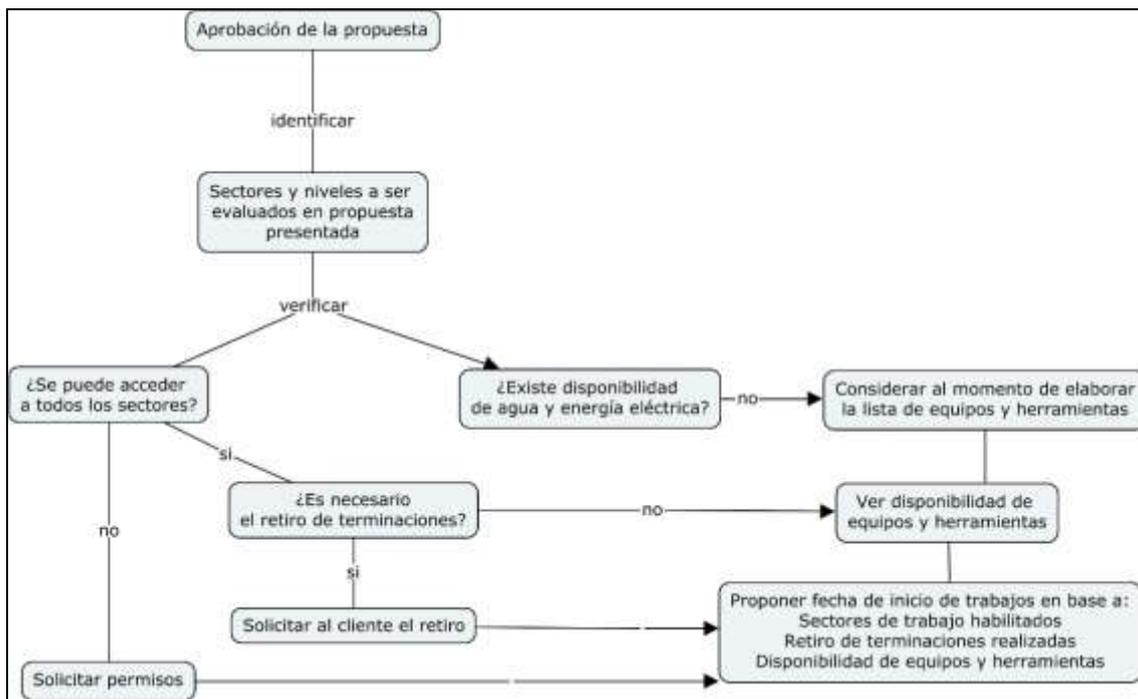


Figura 4.2. Propuesta de procedimientos a seguir ante la aprobación de la propuesta de evaluación.

Fuente. Elaboración propia

En la fase de estudio comprende aspectos para evaluar las condiciones de seguridad y de durabilidad de la estructura si fuese el caso. Para ello debe realizarse una investigación en campo que contemplen ensayos de información para conocer ciertas características de los elementos estructurales y actividades de relevamiento e inspección detallada que permita detectar anomalías que estén afectando a la estructura.

Luego de la investigación se realiza el análisis de los datos procesados y las verificaciones estructurales que complementen el trabajo a fin de lograr el diagnóstico correspondiente.

En la **figura 4.3** se proponen los procedimientos que involucran a la fase de estudio, además de los anejos y fichas elaboradas para la mejor gestión del análisis requerido.

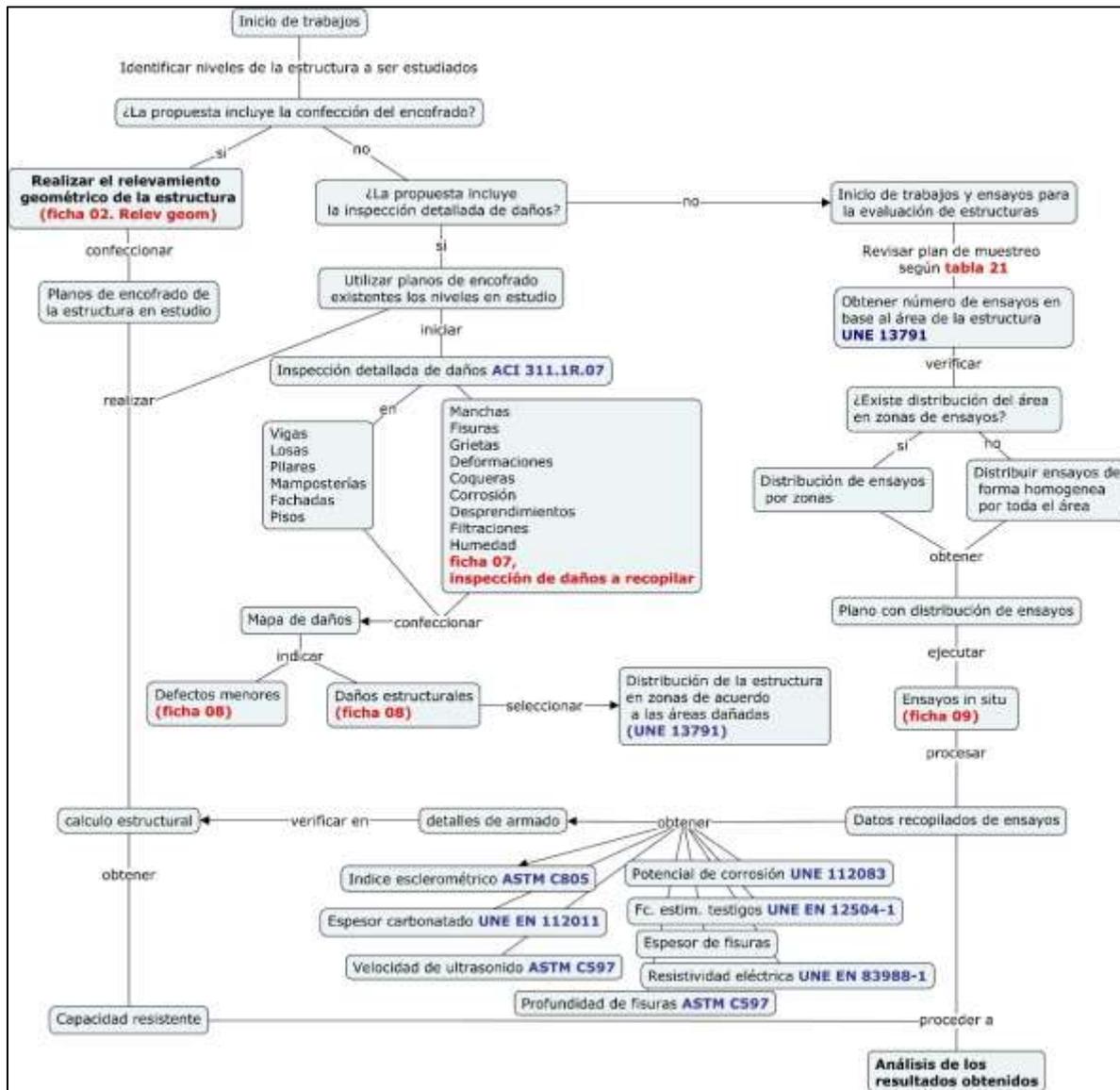


Figura 4.3. Propuesta de actividades a realizar en la fase de estudio.

Fuente. Elaboración propia

4.2.1 Relevamiento geométrico

Cuando la propuesta incluya la confección del encofrado, se requiere la recolección de datos relacionados a la geometría, ubicación de elementos, espesores y dimensiones correspondiente. Deben estar contemplados todos los elementos estructurales. La **ficha 02** detalla un listado de verificaciones a realizar en esta actividad, de modo a obtener la información completa que posteriormente será una pieza clave para los siguientes trabajos de evaluación y el análisis estructural si fuese el caso.

4.2.2 La inspección detallada de daños

En todos los casos de evaluación debe considerarse el relevamiento de daños, incluso si éste no fuese el problema de interés por parte del cliente. Las estructuras podrían presentar anomalías que no siempre se

aprecian a simple vista y es necesario la inspección por parte de un profesional. Cualquier indicio de daños requieren ser analizados y caracterizados para comprender su trascendencia estructural ya que podría influir en los resultados del diagnóstico correspondiente.

Las consideraciones para realizar la inspección visual se detallan en el capítulo 11 de la norma **ACI 311.1R.07**. En la **ficha 07** se listan los daños que deben verificarse durante la inspección para cada elemento estructural. Se recomienda ubicar los daños en el plano de encofrado ya elaborado previamente o provisto por el cliente para identificar las áreas más afectadas de la estructura.

En la **ficha 08** se distinguen los daños revisados como estructurales y no estructurales. Aquellos daños de carácter estructural deben ser analizados y considerados al momento de elaborar la propuesta de ensayos. La norma **UNE 13791**, recomienda la distribución de ensayos por zonas cuando se identifican áreas dañadas.

4.2.3 Ensayos in situ

La propuesta del plan de ensayos se presenta en este apartado siguiendo las recomendaciones de la norma **UNE 13791**, donde se detalla la cantidad de ensayos en campo requerida, el volumen mínimo para cada zona de estudio y los diámetros que deben considerarse para la extracción de núcleos de hormigón. Se describen también otros aspectos en cuanto a la distribución recomendada y cantidad de lecturas para los ensayos a realizar.

Para cada ensayo a realizar, se mencionan las normativas relacionadas a los procedimientos que deben seguirse en cada caso. Es importante atender a las consideraciones mencionadas y aplicar de forma adecuada la metodología de ensayo en campo.

Los datos obtenidos de las actividades de campo deben ser procesados para posteriormente conocer los valores de resultados que presentan los elementos estructurales evaluados.

Los valores de ensayos no destructivos en conjunto con los valores de los testigos ensayados en laboratorio, serán utilizados para la estimación de la resistencia del hormigón (**Gavilán Martínez, 2011.**). La resistencia obtenida podrá utilizarse en la verificación del cálculo estructural.

No se admite la cuantificación de la resistencia a compresión del hormigón mediante solamente ensayos no destructivos como reemplazo al muestreo y ensayos de testigos de hormigón.

En cuanto a las regiones y ubicaciones de ensayo:

- ✓ Si existen distintos tipos de dosificaciones de hormigón, se consideran regiones de ensayos separadas.
- ✓ Las regiones de ensayos consideradas luego de la división, deben cumplir con los requisitos mínimos de una región de ensayo.
- ✓ La elección de las ubicaciones a ensayar está ligada a la ubicación general de la obra, el manejo y traslado de equipos, las condiciones de accesibilidad y el nivel de seguridad para el personal de obra.
- ✓ Se deben evitar zonas fisuradas, secciones muy solicitadas y sectores con barras de refuerzo.

Valores mínimos de resultados de ensayos:

En cuanto a testigos extraídos:

- ✓ Para diámetros de núcleos de hormigón mayores o iguales a 75 mm, el mínimo número de resultados de ensayos válidos para la estimación de la resistencia característica a la compresión in situ de una región de ensayo es ocho.
- ✓ Se recomienda la extracción en al menos diez ubicaciones para considerar valores atípicos.
- ✓ Si se cuenta con una reducida región de ensayo, el número mínimo puede ser menor.
- ✓ Si se realiza la combinación de la extracción de testigos con ensayos indirectos, el mínimo número de resultados de ensayos es tres. Se recomienda extraer al menos en cuatro ubicaciones para tener en cuenta valores atípicos.

En cuanto al índice de rebote:

- ✓ Se utiliza la mediana de al menos 9 lecturas válidas en una ubicación de ensayo

En cuanto a la medición de la velocidad de pulso ultrasónico:

- ✓ Puede utilizarse una sola medición de la velocidad medida de forma directa o indirecta en la sección de hormigón o la media de las lecturas si se realiza más de una medición en la ubicación de ensayo.

Deben considerarse los siguientes aspectos en cuanto a la extracción de núcleos:

- ✓ Seleccionar ubicaciones donde la resistencia del elemento sea menos afectada
- ✓ Ubicar las barras de acero con el uso de pachómetro
- ✓ El diámetro mínimo exigido por la ASTM C42 para núcleos de hormigón es de 94 mm.
- ✓ Para diámetros iguales o superiores a 75 mm, a excepción de que este procedimiento no sea práctico, la esbeltez recomendada es de 2:1 o 1:1.
- ✓ Cuando las armaduras de refuerzo no hacen posible la extracción con este diámetro mínimo, se emplean diámetros mayores o iguales a 50 mm.
- ✓ Puede extraerse un solo testigo si el diámetro está comprendido entre 50 mm y 75 mm y si el objetivo es definir la resistencia media sin la estimación a compresión en cada ubicación.
- ✓ Para llegar a el mismo nivel de confianza de resultados obtenidos en testigos de diámetros iguales o superiores a 75 mm, se requieren más testigos de un diámetro menor. Sin embargo, es posible alcanzar la misma confianza utilizando la resistencia media de una región de ensayo con el aumento del número de ubicaciones y con la extracción de un solo testigo de menor diámetro por ubicación.
- ✓ La tabla 4 de la norma UNE 13791:2020 presenta los requisitos para obtener un resultado de ensayo en una ubicación, en base a la relación diámetro altura y al diámetro del testigo. Detallando la necesidad de extraer 3 testigos de 50 mm de diámetro con una relación altura diámetro de 1:1, equivalente a la extracción de 1 testigo de diámetro igual o superior a 75 mm, con esbelteces de 2:1 y 1:1.

Tabla 4.7 Resumen de valores mínimos de resultados para ensayos en hormigón.

Fuente. Adaptado de UNE-EN 13791, 2021, p. 32.

Extracción de testigos	Valores mínimos de resultados			
	Ø ≥75 mm		Ø 50 mm	
	Requerido	Recomendación mínima para valores atípicos	Requerido	Recomendación mínima para valores atípicos
Estimación in situ	8	10	24	30
Combinación con otros ensayos	3	4	9	12
Ensayos indirectos				
Valores mínimos de resultados				
Esclerometría (lecturas)	9			
Velocidad de ultrasonido (lecturas)	1			

Regiones de ensayo requeridas, (volumen 30 m³)			
Número de regiones	Mínimo número de ubicaciones de ensayo		
	Extracción de testigos		Ensayos indirectos
	Ø ≥75 mm	Ø 50 mm	
1	3	9	9
2 a 4	2	6	12
5 a 6	2	6	20

4.2.4 Verificación estructural

En cuanto a la **verificación al cálculo**, se debe realizar primeramente una actualización de las condiciones encontradas en campo, en cuanto a la sobrecarga de uso existente, las cargas adicionales que actúan en relación al proyecto original, y todos aquellos aspectos que modifiquen las características iniciales de la estructura.

En caso que no sea posible acceder a información relacionada a las características de los materiales, pueden utilizarse valores de las tablas 6.3.2a, 6.3.2b y 6.3.2c basado en datos históricos.

Los valores conocidos de propiedades de materiales proporcionados en los documentos de construcción pueden ser utilizados, a excepción que se presenten deterioros importantes que afecten al rendimiento de los miembros.

Si no existe información relacionada a los datos históricos, el valor predeterminado para el límite elástico F_y se podrá considerar 33.000 psi.

Puede realizarse la comprobación de estados límite de resistencia mediante métodos semiprobabilistas como se explicó en el apartado 3.2.2.3 del capítulo 3

4.2.5 Análisis de las condiciones de seguridad

Se analizan dos aspectos:

- La capacidad portante

En este procedimiento deben aplicarse métodos semi probabilistas a fin de obtener estimar la pérdida de la capacidad resistente de la estructura:

Se verificará el cumplimiento de la seguridad estructural si la probabilidad de fallo de la estructura dimensionada con las normas de las acciones y la resistencia requerida, es inferior a la probabilidad de fallo admisible calculada con los parámetros actualizados de variables involucradas en el cálculo.

- La aptitud de servicio

Se analiza el efecto de las acciones considerando valores actualizados luego de la información proveniente de los trabajos de evaluación. Se verifican los valores límites de estos efectos.

La información a ser analizada en este apartado es la relacionada a:

- Ensayos no destructivos para la estimación de la resistencia característica del hormigón
- Resultados de ensayos en núcleos de hormigón
- Valor de la resistencia estimada obtenida
- Verificación al cálculo estructural con las condiciones actualizadas de la situación existente

Una vez definido el valor de la resistencia estimada, mediante la correlación de los resultados de ensayos no destructivos y la aplicación de las fórmulas del apartado 3.2.6.5, capítulo 3, podrá realizarse el cálculo estructural mediante el software de análisis, con ello se obtendrán las secciones de acero necesarias y pueden ser comparadas con las secciones de acero encontradas en obra o recibidas en el proyecto.

El resumen de estos resultados puede definirse como se indica en la tabla 18 identificando el porcentaje de elementos que cumplen con los requerimientos mínimos.

Tabla 4.8 Resultados que se presentan con el ensayo de pachometría.

Fuente. Elaboración propia.

Pachometría	
Armadura encontrada en obra	Cumple con la verificación estructural
	No cumple con la verificación estructural

Otro indicador para la aptitud de servicio es el análisis de los daños encontrados los cuales pueden caracterizarse de acuerdo con su origen y la información del relevamiento de fisuras como se indica en la tabla 25.

- Mapa de daños de carácter estructural

Tabla 4.9 Resumen de resultados para verificaciones de fisuras.

Fuente. Elaboración propia.

Origen estructural	Espesores de fisuras razonables (Según condición de exposición)					Profundidad de fisuras (según el espesor de su sección)			
	Aire seco	Aire humedo	Productos químicos	Agua de mar	Estructuras para retención de agua	< 10% del espesor	10% a 20% del espesor	20% a 80% del espesor	100% del espesor
Daños de trascendencia estructural	0,41	0,3	0,18	0,15	0,1	Superficiales	Someras	Profundas	Pasantes

El criterio adoptado para definir las condiciones de aptitud de servicio de la estructura es el siguiente:

Cuando se cumple que el efecto de las acciones consideradas en el dimensionamiento de una estructura es inferior al valor máximo admisible establecido para dicho efecto, se establece que la estructura cumple satisfactoriamente con el comportamiento para el periodo de servicio restante en relación a un determinado criterio. (CTE DBSE, 2019, p.37)

4.2.6 Análisis de las condiciones de durabilidad

La información a ser analizada en este apartado es la relacionada a:

- Resultados de ensayos de carbonatación del hormigón

Tabla 4.10 Resultados que pueden obtenerse del ensayo de carbonatación.

Fuente. Elaboración propia.

Ensayo de carbonatación	
Resultados obtenidos	
Espesor de recubrimiento	0% carbonatado
	Parcialmente carbonatado
	100% carbonatado

- Resultados de ensayo de potencial de corrosión

Tabla 4.11 Probabilidad de corrosión para valores obtenidos del ensayo de potencial de corrosión

Fuente. Adaptado *Evaluación de estructuras de hormigón armado*, 2019

Potencial de acero versus electrodo de referencia de cobre / sulfato de cobre	Probabilidad de corrosión
Más positivo que -200 mV	Menos del 10%
Entre -200 mV y -350 mV	Desconocido
Más negativo que -350 mV	Más del 90%

- Resultados de ensayo de resistividad eléctrica

Tabla 4.12 Agresividad del hormigón para valores obtenidos del ensayo de resistividad.

Fuente. Adaptado *Evaluación de estructuras de hormigón armado*, 2019

Rango de resistividad eléctrica (ρ) k Ω cm	Agresividad del hormigón
>200	Bajo
20 200	Moderado
<20	Alto

- Mapa de daños generales encontrados

Tabla 4.13 Resumen de verificaciones para fisuras catalogadas como daños menores.

Fuente. Elaboración propia.

Origen estructural	Espesores de fisuras razonables (Según condición de exposición)					Profundidad de fisuras (según el espesor de su sección)			
	Aire seco	Aire humedo	Productos químicos	Agua de mar	Estructuras para retención de agua	< 10% del espesor	10% a 20% del espesor	20% a 80% del espesor	100% del espesor
Defectos menores	0,41	0,3	0,18	0,15	0,1	Superficiales	Someras	Profundas	Pasantes

4.2.7 Herramientas de gestión propuestas en la fase de estudio

Tabla 4.14 Ficha 07. Propuesta en la fase estudio del modelo

Fuente. Elaboración propia.

Elemento	Tipo de daño
Vigas	Fisuras verticales en vigas
	Fisuras en cara inferior cercanas a pilar con asentamiento
	Fisura en configuración "piel de cocodrilo" en zona extrema de pieza en unión de hormigón armado con prefabricado
	Fisuras por flexión que nacen de la cara inferior y van en dirección al centro del vano
	Fisuras muy finas (0.05 a 0.2 mm de espesor) en la cara de tracción y presencia de fisuras horizontales en zona comprimida
	Fisuras inclinadas paralelas entre sí con separación apreciable y ancho variable
	Fisuras inclinadas en unión con elemento prefabricado (espesor 0.05 a 0.2 mm.)
	Fisuras del tipo helicoidal con espesor muy pequeño (<0.1 mm)
	Fisuras inclinadas en zona de apoyos que nacen de la cara superior
	Fisura en cara superior sobre apoyos
	Fisuración simultanea en zonas de momentos positivos y negativos
Pilar	Falta de verticalidad
	Fisuras verticales en cabeza de pilares
	Fisuras verticales de ancho variable y poca separación
	Varias fisuras paralelas a la directriz del pilar. Espesor pequeño (<0.1 mm)
	Fisura inclinada de pequeño ancho (<0.1 mm)
	Fisuras verticales de pequeño espesor paralelas entre sí en nudo del pilar
	Fisuras verticales superpuestas con las armaduras principales
	Fisuras de dirección sensiblemente horizontal en pilares con zapata lindera
	Fisuras horizontales en cabeza de pilar
Muros	Fisuras verticales en zona superior
	Fisuras verticales de ancho variable y poca separación entre sí
	Fisuras en mapa
	Fisuras horizontales en unión con losa
Losas	Fisuras alrededor de pilares y en dirección radial a ellos
	Fisuras de borde en punta de voladizo
	Fisuras en malla o en estrella
	Fisuras de distribución aleatoria
	Fisuras a 45° que van del centro de la losa a apoyos
Tabiques /Mampostería/Cerramientos	Fisuras en unión con elementos estructurales
	Fisuras en esquinas de huecos
	Rotura de azulejos
	Fisuras en trayectoria de juntas de ladrillos de mampostería
	Fisura sensiblemente vertical a la zona central del vano
	Fisuras próximas al techo
	Fisuración del tramo superior de cerramiento marcando la posición de la losa
Ménsulas	Fisura única vertical de ancho variable
	Fisuras con ancho variable que nacen en la cara superior y van en dirección al centro del pilar
	Fisuras paralelas de pequeño espesor hacia la cara inclinada de la ménsula
General	Armadura expuesta/Recubrimiento nulo de elementos
	Desplazamiento de armaduras
	Separación insuficiente de armaduras
	Recubrimiento excesivo
	Interferencia de la estructura con las instalaciones
	Armaduras expuestas
	Pérdida de sección de armaduras
	Coqueras
	Manchas de óxido en posición de armaduras
	Desprendimientos
	Filtraciones
	Presencia de musgos
	Eflorescencia

Tabla 4.15 Ficha 08. Propuesta en la fase estudio del modelo

Fuente. Elaboración propia.

Tipo de daño	Elemento	Descripción	Referencia (Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado. Tomo II)	Referencia (Manual de patología de la edificación)
Daños de origen estructural	Pilares	Fisuras por tracción pura en tirantes y muros	A.6	
		Fisuras por tracción en pilares		L. 8.5
		Fisuras por compresión centrada en pilares	A.7	L. 8.1
		Fisuras de flexión compuesta en pilares	A.9	L. 8.4
		Fisuras por flexión por pandeo en pilares		L. 8.6
		Fisuras de esfuerzo cortante en pilares		L. 8.3
	Vigas	Fisuras de esfuerzo cortante en vigas	A.10	L. 9.4
		Fisuras por flexión y cortante en vigas		L. 9.11
		Fisuras por flexión y torsión en vigas		L. 9.12
		Fisuras de flexión simple en vigas	A.8	L. 9.1
		Fisuras por compresión en cara inferior de vigas		L. 9.6
		Fisuras por cortante por flexión lateral en vigas		L. 9.5
		Fisuras de esfuerzo rasante en vigas	A.12	L. 9.3
	Losas	Fisuras por torsión en vigas	A.1.1 al A.13	L. 9.8 a L.9.10
Fisuras por compresión en losas			L. 16.3	
Fisuras por flexión en zona superior de losas			L. 16.2	
Fisuras por flexión en zona inferior de losas			L. 16.1	
Daños de origen no estructural	Pilares, losas, vigas	Fisuras de punzonamiento en losas	A.11	L. 16.4
		Fisuras por asiento plástico	A.1.1 al A.1.7	
		Fisuras por movimiento del encofrado	A.1.8	
		Fisuras por retracción plástica	A.2	L.9.16
		Fisuras por contracción térmica inicial	A.3	L.9.17
		Fisuras por retracción hidráulica	A.4	L. 8.10 y L.9.16
		Fisuras en mapa	A.5	
Fisuras por corrosión	A.18	L. 8.7, L.8.8, L.9.18 a L.9.22,L.16.6		

Tabla 4.16 Ficha 09. Resumen de normativas y ensayos relacionados descriptos.

Fuente. Elaboración propia.

Normativa	Procedimiento que describe
UNE 112083	Medición del potencial de corrosión libre en estructuras de hormigón armado
UNE 112011	Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio
UNE 83988-1	Determinación de la resistividad eléctrica
ASTM C-597	Método de prueba estándar para la velocidad del pulso a través del concreto
ASTM C-805	Método de prueba estándar para Número de rebote de hormigón endurecido
ASTM C-42	Método de Ensayo Normalizado para la Obtención y ensayo de núcleos perforados y vigas aserradas de Concreto

4.3 Fase de diagnóstico

4.3.1 Análisis de resultados obtenidos

Diagnóstico en base a los estudios realizados:

- Seguridad de la estructura

Si luego de la verificación por métodos semiprobabilistas, se comprueba que la probabilidad de fallo obtenida considerando las normas establecidas y la resistencia requerida es inferior a la probabilidad de fallo admisible determinada con la actualización de los parámetros de cálculo involucrados, se establece que la estructura cumple satisfactoriamente con la seguridad estructural.

- Aptitud de servicio:

Sí para las condiciones de dimensionamiento, el efecto de las acciones no supera el valor máximo admisible establecido para el efecto considerado, se establece que la estructura tiene un comportamiento adecuado para el periodo de servicio restante.

- Durabilidad de la estructura

Si los resultados de los ensayos de carbonatación, potencial de corrosión y resistividad eléctrica, comprueban una alta probabilidad de corrosión y agentes agresivos en el hormigón. Además de un recubrimiento altamente carbonatado.

Diagnóstico cualitativo:

- Capacidad portante:

Puede establecerse que la estructura ha sido dimensionada y construido de acuerdo a las normas establecidas y cuenta con una capacidad portante adecuada cuando:

- ✓ Se ha utilizado la estructura por un periodo de tiempo suficiente sin detectar daños o anomalías
- ✓ Durante los trabajos de inspección estructural no fueron encontrados daños o deterioros
- ✓ Las fuerzas de los elementos se transmiten de manera adecuada a través del sistema constructivo.
- ✓ En el transcurso del tiempo no fueron realizadas modificaciones que incrementen las acciones en la estructura.
- ✓ No se anticipan cambios futuros que puedan incrementar las acciones sobre el edificio.

- Durabilidad de la estructura:

La estructura cuenta con una durabilidad adecuada si:

- ✓ Considerando el deterioro previsible y las acciones de mantenimiento proyectadas, se anticipa una adecuada durabilidad
- ✓ En el transcurso del tiempo no fueron realizadas modificaciones que afecten a la durabilidad
- ✓ No se anticipan cambios futuros que puedan afectar la durabilidad de manera significativa.

- Aptitud de servicio:

Puede establecerse que la estructura ha sido dimensionada y construido de acuerdo a las normas establecidas y se considera apta para el servicio cuando:

- ✓ En la estructura no se han producido daños o anomalías ni presentado deformaciones o vibraciones excesivas durante un periodo de tiempo suficiente.
- ✓ Durante los trabajos de inspección estructural no fueron encontrados daños o deterioros ni desplazamientos o vibraciones excesivas

- Seguridad de la estructura:

- ✓ Si se comprueba que la estructura cuenta con una seguridad estructural adecuada, puede ser utilizada con las condiciones establecidas. Se recomienda la propuesta de un plan de inspección y mantenimiento en base a las características y la magnitud de la estructura.
- ✓ Si no se demuestra una adecuada seguridad estructural, se propondrán recomendaciones relacionadas a los resultados de la evaluación.

4.3.2 Redacción del informe final

La información a presentar en este documento se detalla a continuación:

- ✓ Antecedentes: Puede citarse el informe preliminar si fuese el caso e incluir incidencias que hayan ocurrido para el planteamiento del programa de evaluación.
- ✓ Información disponible: Actualizando la especificada en el informe preliminar si existieran variaciones al respecto.
- ✓ Resumen de trabajos realizados y resultados obtenidos
- ✓ Verificación estructural y contrastación de resultados con el diseño de elementos proveído
- ✓ Análisis de los resultados obtenidos
- ✓ Verificación de la capacidad resistente de la estructura
- ✓ Análisis de las condiciones de durabilidad
- ✓ Conclusiones y recomendaciones

5 Validación del modelo.

5.1 Método Delphi.

Se utiliza este método basado en recoger información proveniente de la opinión de un panel de expertos mediante encuestas o consultas reiteradas. Consiste en la elaboración de un programa que presenta una secuencia de interrogaciones a través de cuestionarios, de ellos posteriormente se obtiene la información que formará parte del tema investigado.

Según Cabero e Infante "el método Delphi es posiblemente uno de los más utilizados en los últimos tiempos por los investigadores para diferentes situaciones y problemáticas, que van desde la identificación de tópicos a investigar, especificar las preguntas de investigación, identificar una perspectiva teórica para la fundamentación de la investigación, seleccionar las variables de interés, identificar las relaciones causales entre factores, definir y validar los constructos, elaborar los instrumentos de análisis o recogida de información, o crear un lenguaje común para la discusión y gestión del conocimiento en un área científica." (2014, p.2)

5.2 Variables consideradas.

Con el modelo base elaborado, fueron planteadas los temas a ser valorados, considerando las fases de modelo propuesto, los procedimientos establecidos en cada uno de ellos y las fichas elaboradas a partir de aquellas actividades que se consideran mejorarán la gestión que se requiera previamente al diagnóstico de las estructuras.

Las variables a ser valoradas son las relacionadas a:

Fase inicial:

- ✓ La inspección preliminar y la verificación de recursos necesarios para la evaluación.
- ✓ Cálculos preliminares incluidos para el diagnóstico previo.
- ✓ Informe preliminar
- ✓ Contenido de la Ficha 01.
- ✓ Contenido de la Ficha 02.
- ✓ Contenido de la Ficha 03.
- ✓ Contenido de la Ficha 04.
- ✓ Contenido de la Ficha 05.
- ✓ Contenido de la Ficha 06.

Fase de estudio:

- ✓ Esquema presentado en la figura 4.2.
- ✓ Aspectos de durabilidad y seguridad de las estructuras.
- ✓ Procedimientos incluidos en el esquema de la figura 4.3.
- ✓ Cantidad de ensayos propuestos
- ✓ Cantidad de ubicaciones de ensayos propuestos
- ✓ El método semiprobabilista para la comprobación de E.L.U.
- ✓ Análisis de las condiciones de seguridad
- ✓ Análisis de las condiciones de durabilidad.
- ✓ Contenido de la Ficha 07.
- ✓ Contenido de la Ficha 08.

Fase de diagnóstico

- ✓ Diagnóstico cualitativo
- ✓ Aspectos a diagnosticar
- ✓ Informe final de evaluación.
- ✓ Fases propuestas en el modelo

5.3 Encuesta.

La encuesta propuesta fue con una escala tipo Likert, donde la valoración se presenta con los siguientes indicadores:

- ✓ 1: Deficiente
- ✓ 2: Insuficiente
- ✓ 3: Poco satisfactorio
- ✓ 4: Satisfactorio
- ✓ 5: Muy satisfactorio

A continuación, se presenta la encuesta propuesta:

Tabla 5.1. Encuesta de validación de modelo.

Fuente. Elaboración propia.

Marque sus respuestas con una X en las casillas en blanco de la columna "ESCALA"								
Fase	Nº	Encuesta - Modelo de gestión para el diagnóstico de estructuras existentes	Escala					Observaciones
			1	2	3	4	5	
Fase inicial	Valore la utilidad de las siguientes situaciones							
	1	Realizar en la inspección preliminar la identificación de daños y la verificación de recursos previo al inicio de la evaluación de la estructura						
	2	Realizar cálculos aproximados con cargas estimativas para el diagnóstico previo						
	3	Presentar un informe preliminar de lo verificado en esta fase						
	Valore el contenido referente a las fichas elaboradas							
	4	Ficha 01. Clasificación suficiente de las solicitudes de evaluación según el motivo de llamadas (5 categorías)						
	5	Ficha 01. Adecuada información inicial a solicitar para cada caso						
	6	Ficha 01. Consultar la información referente al tipo de estructura y uso en el contacto inicial con el cliente						
	7	Ficha 02. Actividades consideradas para el trabajo de relevamiento						
	8	Ficha 03. Datos suficientes a solicitar para la base de análisis de información						

Tabla 5.2. Encuesta de validación de modelo. (Continuación)

Fuente. Elaboración propia.

Marque sus respuestas con una X en las casillas en blanco de la columna "ESCALA"								
Fase	N°	Encuesta -Modelo de gestión para el diagnóstico de estructuras existentes	Escala					Observaciones
			1	2	3	4	5	
Fase inicial	Valore el contenido referente a las fichas elaboradas							
	9	Ficha 04. Aspectos adecuados a verificar para las condiciones de acceso al momento de la evaluación						
	10	Ficha 04. Recursos adecuados a verificar para la ejecución de los trabajos de evaluación						
	11	Ficha 04. Fenómenos a identificar en el sitio de interés acordes a los aspectos que afectan a la estructura						
	12	Ficha 05. Casos presentados adecuados para lo relacionado a daños que pongan en riesgo el uso de la estructura						
	13	Ficha 06. Actividades de evaluación acordes a cada caso o problema existente en la estructura						
Fase de estudio	Valore el contenido de las siguientes situaciones							
	14	Figura 4.2. Procedimientos adecuados y suficientes a ser considerados antes de la aprobación de la propuesta						
	15	El enfoque en los aspectos de seguridad y durabilidad de las estructuras. Mencione si son necesarios otros aspectos a evaluar						
	16	Figura 4.3. El orden y cantidad de los procedimientos incluidos antes de realizar el análisis de resultados.						
	17	Figura 4.3. La clasificación de daños en menores y estructurales						
	18	Figura 4.3. La distribución de áreas a ser evaluadas en zonas de ensayos de acuerdo a los daños presentes						
	19	Figura 4.3. Los ensayos propuestos para la evaluación y su recomendación de incluir o eliminar alguno.						
	20	Tabla 4.7. Número mínimo de ensayos recomendados						
21	Tabla 4.7. Número mínimo de ubicaciones a ser ensayadas recomendados de acuerdo al volumen							

Tabla 5.3. Encuesta de validación de modelo. (Continuación)

Fuente. Elaboración propia.

Marque sus respuestas con una X en las casillas en blanco de la columna "ESCALA"								
Fase	Nº	Encuesta -Modelo de gestión para el diagnóstico de estructuras existentes	Escala					Observaciones
			1	2	3	4	5	
Fase de estudio	Valore el contenido de las siguientes situaciones							
	22	En la verificación estructural, la utilización de métodos semiprobabilistas para la comprobación de E.L.U.						
	23	En el análisis de las condiciones de seguridad. La información que se propone analizar es adecuada en este apartado						
	24	En en análisis de las condiciones de durabilidad. La información que se propone analizar es adecuada en este apartado.						
	Valore el contenido referente a las fichas elaboradas							
	25	Ficha 07. Tipos de daños a ser verificados de acuerdo a cada elemento. Indique su recomendación para añadir o eliminar alguno.						
26	Ficha 08. Clasificación adecuada de los daños de origen estructural y no estructural. Indique su recomendación para añadir o eliminar							
Fase de diagnóstico	Valore el contenido de las siguientes situaciones							
	27	Ficha de diagnóstico cualitativo						
	28	La clasificación del diagnóstico en base a condiciones de seguridad, aptitud de servicio y durabilidad de la estructura						
29	La información propuesta para el informe final de evaluación							
Valoración final	30	Para la fase inicial. ¿Considera suficiente las actividades, procedimientos y herramientas propuestas?						
	31	Para la fase de estudio. ¿Considera suficiente las actividades, procedimientos y herramientas propuestas?						
	32	Para la fase de diagnóstico. ¿Considera suficiente las actividades, procedimientos y herramientas propuestas?						
	33	Indique el nivel de utilidad que considere se aplica a la metodología presentada en el modelo						

5.4 Selección de expertos.

Los expertos seleccionados cuentan con experiencia en la ejecución de estructuras de hormigón, el análisis estructural, estudios de anomalías presentes en las construcciones y otros aspectos relacionados para el diagnóstico de estructuras de hormigón. Además, cuentan con una amplia trayectoria en cuanto al área académica donde se desarrollan como docentes investigadores, jefes de cátedras relacionadas a estructuras de hormigón y asesores de trabajos finales de investigación tanto de grado como de maestrías.

Se presenta a continuación la lista de profesionales que forman parte del panel de expertos para la validación del modelo:

Tabla 5.4. Resumen de profesionales miembros del panel de expertos para la validación del modelo.

Fuente. Elaboración propia.

Identificación	Años de experiencia	Perfil profesional	Trayectoria académica.
A1	22	Máster en Estructuras de edificación. Especialista en Ingeniería Civil. Profesional en cálculos y construcciones de estructuras metálicas y de hormigón armado.	Profesor de Tecnología del Hormigón, Estructuras 3, Hormigón Armado 2, en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción.
A2	28	Msc. Ingeniero civil e industrial. Dirección de obras de infraestructura y mantenimiento de plantas industriales.	Profesor titular de la Universidad Nacional de Asunción.
A3	15	Magister en Ciencias de la Ingeniería Civil. Profesional independiente en el área de cálculo estructural, así como ejecución de obras civiles y estructuras.	Profesor encargado de Cátedra de Hormigón Armado 2 en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción
A4	15	Máster en Ciencias de la Ingeniería Civil. Profesional en cálculos estructurales y construcción de obras civiles.	Profesor encargado de Cátedra de Hormigón Armado 2 en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción
A5	10	Doctorando en ingeniería civil con énfasis en estructuras. Proyectista de estructuras de hormigón armado, metálicas y madera.	Coordinar los programas de Postgrado del Departamento en el área civil, geográfica y ambiental.
A6	15	Máster en estructuras. Calculista de estructuras metálicas y de hormigón armado.	Profesor Investigador de la Universidad Nacional de Itapúa, Paraguay.

Tabla 5.5. Resumen de profesionales miembros del panel de expertos para la validación del modelo. (Continuación)

Fuente. Elaboración propia.

Identificación	Años de experiencia	Perfil profesional	Trayectoria académica.
A7	25	Doctorando en Ingeniería civil en el área de estructuras. Profesional con mayor cantidad de trabajos científicos elaborados en el área de la Ingeniería Estructural (en Paraguay) Vice Presidente de la Asociación Sudamericana de Ingeniería Estructural (2016-2020)	Jefe del departamento de construcciones y estructuras de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción. Docente investigador en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Itapúa.
A8	35	Msc en ingeniería civil. Profesional dedicado a las evaluaciones, reparaciones y refuerzos de estructuras de hormigón.	Profesor en Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría
A9	10	Máster en Ciencias de la Ingeniería Civil. Experiencia en construcción de obras civiles, evaluación de estructuras de hormigón armado y fiscalización de ejecución de edificios en altura.	Profesor de las cátedras de Hormigón Armado I y II de la Universidad Nacional de Itapúa, Paraguay.

5.5 Procedimiento para la obtención de la información.

La encuesta es enviada a cada experto miembro del plantel vía correo electrónico, explicando el modelo base preparado y las interrogantes a ser validadas a partir de ello.

Se solicita la respuesta dentro del plazo de 10 días a fin de recopilar los datos obtenidos y verificar la necesidad de una segunda ronda de encuestas.

5.6 Análisis de la información obtenida.

Se representan mediante gráficos estadísticos las respuestas obtenidas a fin de identificar la variación existente entre las respuestas del panel de expertos y si esta fuese significativa, asignar la interrogante a la siguiente ronda de encuestas. Esta vez presentando al grupo las respuestas de cada participante a fin de intercambiar opiniones y buscar un acuerdo mutuo para definir el tema dado.

Para cada pregunta, se analizó el coeficiente de variación existente entre las respuestas obtenidas por los miembros del panel, el criterio seleccionado para definir la necesidad de una segunda ronda de encuestas fue en base a aquellos resultados en donde el coeficiente de variación sea superior a 0.20 (Reguant-Álvarez, M. y Torrado-Fonseca, M., 2016, p.99)

Tabla 5.6. Resultados obtenidos de la primera encuesta.

Fuente. Elaboración propia.

Resultados		Panel de expertos- Respuestas								
Pregunta	Coficiente de variación	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
1	0,09	5	5	5	5	5	4	4	5	5
2	0,30	5	5	5	5		3	2	4	5
3	0,22	5	5	3	5		3	5	5	5
4	0,21	5	5	4	4	4	4	3	5	4
5	0,17	4	5	4	4	4	4	4	5	4
6	0,14	5	5	5	4	4	4	4	5	4
7	0,20	4	5	5	4	4	4	3	5	5
8	0,13	4	5	4	5	4	5	5	5	4
9	0,13	4	5	5	4	4	5	4	5	5
10	0,18	5	5	5	4	4	3	4	5	5
11	0,09	5	5	5	4	4	5	5	5	5
12	0,20	3	5	4	4	4	5	4	5	5
13	0,17	5	5	5	4	4	5	5	5	3
14	0,13	4	5	5	5	4	4	4	5	5
15	0,17	5	5	5	5	4	4	3	5	5
16	0,18	3	5	4	5	4	5	4	5	5
17	0,09	5	5	5	5	4	5	4	5	5

Tabla 5.7. Resultados obtenidos de la primera encuesta (Continuación).

Fuente. Elaboración propia.

Resultados		Panel de expertos- Respuestas								
Pregunta	Coefficiente de variación	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
18	0,10	5	5	4	5		5	4	5	5
19	0,14	5	5	4	5	4	4	4	5	
20	0,10	5	5	5	5		4	4	5	
21	0,10	5	5	5	5		4	4	5	
22	0,17	5	5	5	5	4	4	3	5	5
23	0,20	4	5	5	5	4	4	3	5	
24	0,14	4	5	5	5	4	4	4	5	
25	0,20	4	5	3	4	4	5	4	5	5
26	0,20	4	5	5	4	3	4	4	5	5
27	0,13	4	5	5	4	4	5	4	5	5
28	0,11	5	5	5	4	5	4	4	5	5
29	0,10	5	5	5	4		5	4	5	
30	0,11	5	5	5	5	4	4	4	5	5
31	0,13	4	5	5	5	4	4	4	5	5
32	0,13	4	5	5	5	4	4	4	5	5
33	0,07	5	5	5	5	5	5	4	5	5

De la primera ronda se pudo observar que las preguntas 2, 3, 4, 7, 12, 23, 25 y 26 presentan un coeficiente de variación superior al definido anteriormente, por lo que fueron tomadas para la segunda encuesta.

Esta encuesta fue presentada nuevamente a los miembros del panel de expertos. Con la información recibida de esta segunda ronda, fueron procesados los datos para determinar el coeficiente de variación en cada caso. Finalmente, los valores se muestran en la tabla 5.8.

Tabla 5.8. Resultados obtenidos de la segunda encuesta.

Fuente. Elaboración propia.

Resultados		Panel de expertos- Respuestas								
Pregunta	Coefficiente de variación	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
2	0,30	5	5	5	5		3	2	4	5
3	0,16	5	5	3	5		4	5	5	5
4	0,16	5	5	4	4	4	4	4	5	4
7	0,14	4	5	5	4	4	4	4	5	5
12	0,14	4	5	4	4	4	5	4	5	5
23	0,14	4	5	5	5	4	4	4	5	
25	0,14	4	5	4	4	4	5	4	5	5
26	0,20	4	5	5	4	3	4	4	5	5

Se puede observar que para 6 los 8 casos analizados, el coeficiente de variación es inferior a 0.20, los apartados 2 y 26 presentan un coeficiente de variación de 0.30 y 0.20 respectivamente. Esto se debe a que los participantes de la encuesta proponen el estudio computacional de los elementos estructurales mediante softwares avanzados de cálculo y además que la investigación se extienda al análisis de los elementos no estructurales y como se manifiestan sus daños, pudiendo ser de trascendencia estructural o no. Estos temas han sido propuestos como líneas futuras de investigación debido a que podría ser muy amplio el estudio para cada caso.

6 Modelo final obtenido.

El modelo propuesto cuenta con tres fases principales:

- ✓ Fase inicial
- ✓ Fase de estudio
- ✓ Fase de diagnóstico

En cada fase se plantean los procedimientos que deben seguirse a fin de lograr obtener toda la información necesaria que permita comprender el origen de los problemas y de esta forma seleccionar adecuadamente los trabajos que deban llevarse a cabo en campo que posteriormente deben ser analizados y complementados con otros métodos si fuese el caso, para finalmente visualizar los resultados conseguidos y realizar el correcto diagnóstico en la estructura.

6.1 FASE INICIAL

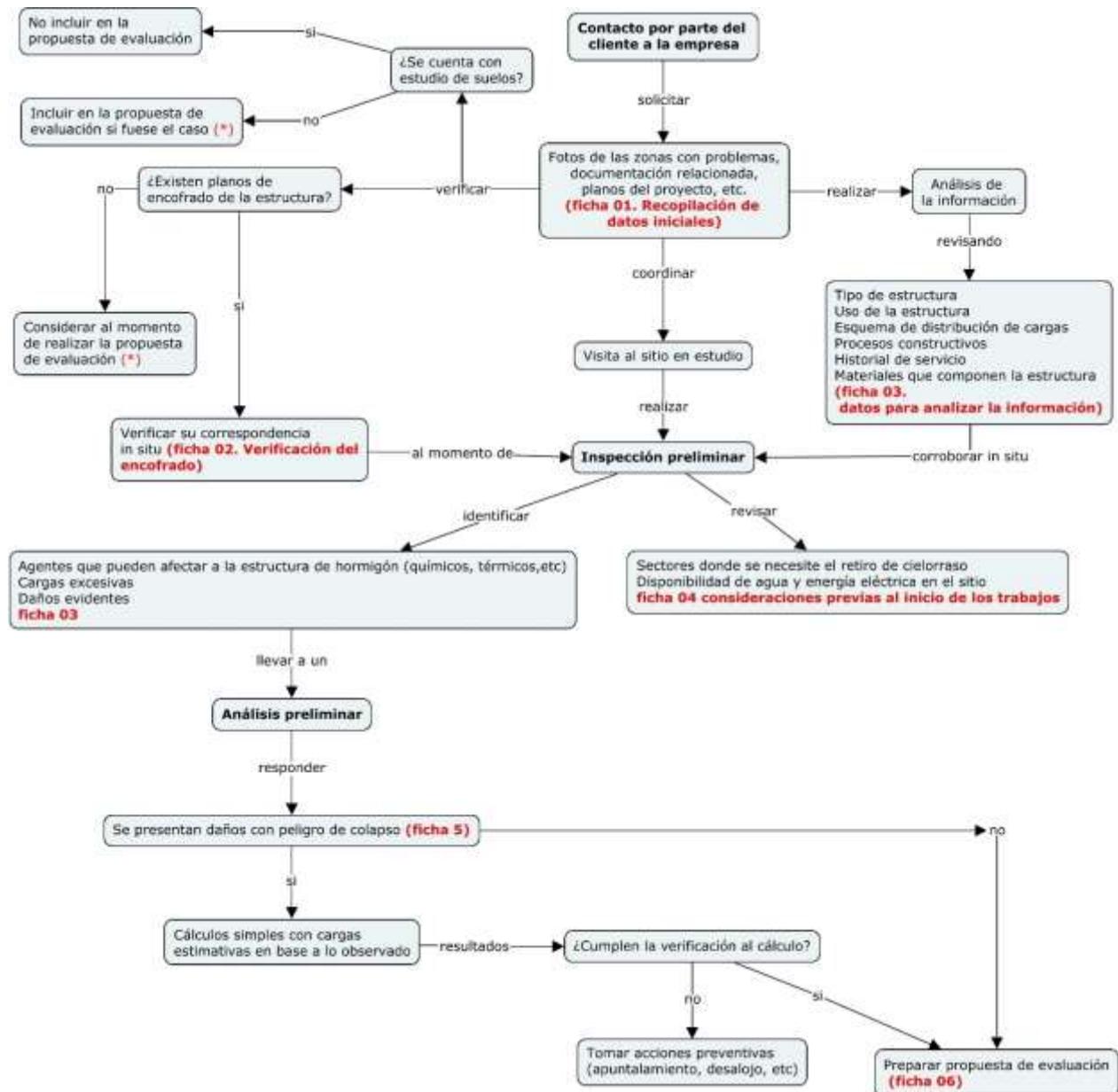


Figura 6.1. Esquema de procesos de fase inicial del modelo propuesto.

Fuente. Elaboración propia

El objetivo de esta fase es conocer la información que se dispone del proyecto en estudio que complementado con los trabajos de la inspección preliminar, permita realizar un diagnóstico previo de la situación que presenta la estructura y proponer los trabajos correspondientes a ejecutar en campo, estos pueden incluir tanto ensayos in situ como actividades de verificación en la estructura.

Los ensayos en campo buscan conocer ciertas características de la estructura que servirán para identificar discrepancias en relación a los valores que indican el proyecto inicial o para detectar anomalías que se traducen en resultados encontrados fuera del rango razonable establecido por las distintas normativas utilizadas para la evaluación de estructuras.

6.1.1 Recopilación de la información

En esta fase se propone primeramente la solicitud de datos preliminares que son necesarios al inicio de la comunicación por parte del cliente. Estos datos se basan en todos aquellos necesarios para crear el escenario inicial de la situación que presenta la estructura, el problema que se busca solucionar y la información relacionada al proyecto que dispone el comitente.

Como existen eventualmente casos en donde la información preliminar queda incompleta por diferentes motivos, se propone la **ficha 01** de Recopilación de datos iniciales de manera a efectivizar la gestión en este proceso inicial. Posteriormente esta ficha se podrá utilizar para el chequeo de la información que se corresponda con la brindada por el cliente y consultar los aspectos que no se correspondan a la situación dada si fuese el caso.

La **ficha 02** puede utilizarse en esta etapa si se dispone del plano de encofrado de la estructura, con ello verificar si la geometría de los elementos in situ se corresponden con la especificada en el proyecto, además de identificar la correcta ubicación y disposición de estos elementos.

6.1.2 Análisis preliminar de la información

Tras haber estudiado la información preliminar y visualizado el escenario inicial, se requiere profundizar en mayor medida sobre las características de la estructura. Para ello es necesario recopilar información adicional y más específica que permita posteriormente un correcto análisis de las condiciones de la estructura. Muchos de estos aspectos no siempre se tienen en cuenta inicialmente y puede darse el caso de realizar varias visitas al sitio para verificar la información completa. La **ficha 03** se propone a fin de mejorar la gestión en la recolección de datos de distintos tipos que se requieren para las actividades posteriores en el diagnóstico de estructuras.

6.1.3 Inspección previa

Una vez obtenida la información del proyecto y los datos preliminares necesarios, se requiere de una inspección preliminar en el sitio en estudio a fin de realizar ciertas verificaciones relacionada a la correspondencia de documentación con el escenario existente.

En ocasiones, el cliente puede contar con toda la documentación solicitada relacionada al proyecto, sin embargo, ésta no siempre se corresponde con las características encontradas en obra, es por eso que se requiere contrarrestar la información recibida con la situación existente para definir si se requiere una

nueva investigación de ciertos parámetros estructurales o si es posible utilizar los valores proveídos para la evaluación correspondiente.

Un documento importante para la evaluación estructural es el plano de encofrado, se requiere de una buena inversión de tiempo para su confección detallada, en caso que la información proveída por el cliente no se corresponda con lo encontrado en el lugar, se debe considerar en la propuesta de evaluación un rubro dedicado al relevamiento geométrico.

6.1.4 Otros aspectos preliminares

Existen además aspectos importantes que pueden alterar ciertas características de la estructura que deben ser identificados al momento de la primera visita al sitio para obtener un mejor diagnóstico inicial de las condiciones existentes. Estos aspectos pueden estar ligados a agentes químicos, térmicos, físicos y otros relacionados. Si bien pueden requerirse de ensayos en campo y otros procedimientos para la identificación adecuada, algunos agentes se manifiestan mediante daños en la estructura que se observan a simple vista o bien pueden registrarse presentarse casos relacionados a bruscos de temperatura, ambientes expuestos a sustancias agresivas, etc.

Además de la necesidad del registro de los aspectos tratados en el párrafo anterior, puede ser provechoso verificar los recursos disponibles y las condiciones de accesibilidad que deban tratarse al momento de ejecutar los trabajos en campo, de manera a reducir el número de visitas al sitio que posteriormente se requieran en caso de buscar complementar alguna información previa al inicio de las actividades. En la **ficha 03** se contemplan además los aspectos que deben registrarse para el diagnóstico preliminar y en la **ficha 04** las consideraciones relacionadas a la disponibilidad de recursos en el sitio.

6.1.5 Diagnóstico previo

Las fichas propuestas permitirán organizar la información recopilada y apreciar el escenario en cuanto a las condiciones preliminares de la estructura, lo cuál es necesario para un análisis adecuado que lleve al diagnóstico preliminar correspondiente.

Tras el análisis se definen medidas de actuación si fuese el caso, dependiendo de la existencia o no de daños con peligro de colapso, que se describen en la **ficha 05**, los cuales hacen referencia a aquellas patologías presentes en los elementos estructurales que cuentan con poca capacidad de aviso antes del fallo. Se complementa esta revisión con una verificación simple mediante cargas estimativas a fin de corroborar si la estructura está soportando solicitaciones superiores a su capacidad máxima frente a los esfuerzos.

En caso de que la verificación preliminar compruebe un posible fallo, se requerirán el desalojo y apuntalamiento del sector previo al inicio de la evaluación de la estructura.

Puede establecerse que, cuando se verifique:

- ✓ El daño estructural menor al sustancial (**apartado 3.2.3.7, capítulo 3**).
- ✓ Las estructuras dañadas presentan defectos que no requieren refuerzo según la verificación

Pueden procederse a los trabajos de reparaciones sin la necesidad de un análisis, si además se confirma que:

- ✓ Se presenta un comportamiento estructural aceptable tanto de las condiciones actuales de la estructura como en el transcurso de los años.
- ✓ No está previsto el cambio de uso o modificaciones adicionales en la estructura actual.

Debe tenerse en consideración que pueden realizarse reparaciones relacionadas a la durabilidad y la capacidad de servicio sin la necesidad de verificar miembros y estados límites de la capacidad, cuando se establezca que la estructura es estructuralmente aceptable.

Se considera un desempeño estructural aceptable cuando el comportamiento pasado y presente ha sido satisfactorio y luego de las observaciones no existen indicios de falla estructural que sobrepasen los niveles esperados.

Si se presentan condiciones estructurales potencialmente peligrosas, se requerirán trabajos de apuntalamiento o medidas relacionadas al desalojo del sitio.

Estas condiciones estructurales potencialmente peligrosas se traducen en inestabilidades, potencial colapso de componentes o piezas superiores, riesgos de caídas o potencial riesgo de fallas bajo cargas de servicio.

Cuando no existan evidencias de daño o deterioro en miembros similares existentes en otro sector de la estructura que ha requerido reparación, no es necesario realizar la evaluación de estos miembros, a excepción de que existan condiciones potencialmente peligrosas.

6.1.6 Informe preliminar

En caso que el cliente solicite la realización de un informe preliminar ya sea por cuestiones relacionadas a las exigencias de la empresa fiscalizadora del proyecto o por motivos relacionados, pudiese presentarse de forma resumida la información referente al diagnóstico preliminar, se propone el siguiente contenido del documento:

Contenido del informe preliminar

- ✓ Antecedentes
- ✓ Información disponible
- ✓ Resultados obtenidos de la inspección preliminar
- ✓ Análisis preliminar de la situación encontrada
- ✓ Conclusiones

6.1.7 Propuesta de evaluación

Finalmente, se elaborará la propuesta de evaluación estructural, donde se contemplen los trabajos necesarios para la investigación requerida en base al análisis previo realizado. En la **ficha 06** se presenta una propuesta de actividades relacionadas a la evaluación estructural basado en el problema existente en cada caso.

6.1.8 Herramientas de gestión propuestas en la fase inicial

Tabla 6.1 Ficha 01. Propuesta en la fase inicial del modelo.

Fuente. Elaboración propia.

Ficha 01/ Recopilación de datos iniciales									
Indicar el motivo de la	Solicitar	Disponen		Indicar con una "x" en la casilla				Consultar	Observaciones
				Tipo de estructura		Tipo de uso			
Cambio de uso de la estructura	Planos del proyecto modificado si lo	Si	No	Edificio	Oficinas		Niveles que serán afectados		
	Planos del proyecto actual	Si	No		Departamentos		Tipo de uso a darle a la estructura existente		
					Local comercial				
					Salón de eventos				
	Fotografías de la estructura actual	Si	No		Centro educativo		Ubicación de la estructura		
			Centro de salud						
			Industria						
Estructura afectada por incendio	Fotografías de la estructura afectada	Si	No	Edificio	Oficinas		Fecha del siniestro		
	Planos del proyecto actual	Si	No		Departamentos		Niveles afectados		
					Local comercial				
					Salón de eventos				
	Informe de causas del siniestro (si lo	Si	No		Centro educativo		Ubicación de la estructura		
			Centro de salud						
			Industria						
Presencia de daños importantes en la estructura	Fotografías de la estructura afectada	Si	No	Edificio	Oficinas		Niveles afectados		
	Planos del proyecto actual	Si	No		Departamentos		Antecedentes de refuerzos		
					Local comercial				
					Salón de eventos				
	Informes de inspecciones previas	Si	No		Centro educativo		Antecedentes de modificaciones realizadas en la estructura		
			Centro de salud						
			Industria		Ubicación de la estructura				
Aumentar el número de niveles de la estructura existente	Planos del proyecto modificado si lo	Si	No	Edificio	Oficinas		Detalles de los tipos de daños aparentes		
	Planos del proyecto actual	Si	No		Departamentos		Otros		
					Local comercial				
					Salón de eventos				
	Fotografías de la estructura actual	Si	No		Centro educativo		Uso a darle a los nuevos niveles		
			Centro de salud						
			Industria						
Valores de resistencia del hormigón inferiores a la requerida en el proyecto	Planillas de resultados de ensayos de rotura	Si	No	Edificio	Oficinas		Niveles y sectores afectados		
	Documentación de la resistencia requerida en el proyecto	Si	No		Departamentos		Elementos que no cumplen con la resistencia requerida		
					Local comercial				
					Salón de eventos				
	Planos del proyecto actual	Si	No		Centro educativo		Ubicación de la estructura		
			Centro de salud						
			Industria						
Verificación de la calidad de la obra ejecutada / Proceso de fiscalización	Planos del proyecto actual	Si	No	Edificio	Oficinas		Niveles y sectores afectados		
	Documentación de la resistencia requerida en el proyecto	Si	No		Departamentos		Elementos que no cumplen con la resistencia requerida		
					Local comercial				
					Salón de eventos				
	Planillas de resultados de ensayos de rotura	Si	No		Centro educativo		Ubicación de la estructura		
			Centro de salud						
			Industria						
Otros:	Fotografías de la estructura actual	Si	No	Vivienda unifamiliar		Otros			
				Otro					
	Planos del proyecto actual	Si	No	Edificio	Oficinas				
	Documentación de la resistencia requerida en el proyecto	Si	No		Departamentos				
					Local comercial				
Salón de eventos									
Planillas de resultados de ensayos de rotura	Si	No	Centro educativo						
			Centro de salud						
			Industria						
	Fotografías de la estructura actual	Si	No	Vivienda unifamiliar					
				Otro					

Tabla 6.2 Ficha 02. Propuesta en la fase de estudio del modelo

Fuente. Elaboración propia.

Ficha /Relevamiento geométrico	
Dibujar	Forma geométrica en planta de la estructura (rectangular, cuadrangular, polígono irregular)
	División en áreas menores (en caso de contar con superficies muy amplias o irregulares)
Ubicar (en cada área subdividida)	Pilares exteriores
	Vigas perimetrales
	Losas en voladizo
	Vigas en voladizo
	Pilares interiores
	Vigas interiores
	Losas interiores
	Huecos/Ductos
	Losas rebajadas
	Cajas de escalera
	Caja de ascensor
Medir (en cada área subdividida)	Dimensiones externas de cada lado de la planta
	Sección de pilares exteriores
	Sección de vigas perimetrales
	Separación de pilares exteriores
	Espesor de losas en voladizo
	Dimensiones de vuelos de losas
	Longitud de vuelo de vigas
	Sección de vigas en voladizo
	Sección de pilares interiores
	Sección de vigas interiores
	Separación de pilares interiores
	Espesores de losas interiores
	Longitud de vigas
	Dimensiones de huecos/ductos
	Dimensiones en planta de caja de escalera
	Dimensiones en planta de caja de ascensor
	Espesor de caja de escalera
	Espesor de caja de ascensor
Altura de piso a losa	
Altura de rebaje de losas	

Tabla 6.3 Ficha 03. Propuesta en la fase inicial del modelo

Fuente. Elaboración propia.

Ficha de recopilación de la información para el análisis	
Datos administrativos	Cliente:
	Nombre o razón social:
	Ruc:
	Teléfono:
	Correo:
Datos de la estructura	Fecha de la visita:
	Nombre del edificio:
	Número de pisos:
	Número de subsuelos:
	Año de construcción:
	Normativa de cálculo empleada:
Información disponible	Estudio de suelos:
	Planos arquitectónicos:
	Memoria de cálculo:
	Detalles de armado:
	Resultados de ensayos a compresión del Hº:
	Especificaciones de la resistencia del proyecto:
	Plano de fundaciones:
Materiales / Terminaciones	Techo/Cubierta:
	Mampostería interior:
	Mampostería en fachada:
	Tabiquería:
	Cielorraso:
	Piso:
Antecedentes / fenómenos ocurridos	Incendios:
	Desmoronamientos:
	Cambios bruscos de temperatura
Antecedentes estructurales	Cambios en el proceso constructivo:
	Parada de obra por un periodo importante:
	Intervenciones realizadas anteriormente:
	Otros:

Tabla 6.4 Ficha 4. Propuesta en la fase de estudio del modelo

Fuente. Elaboración propia.

Ficha/Aspectos previos al inicio de los trabajos				
Categoría	Aspectos a verificar	Indicar		Observaciones
Condiciones de acceso	Disponibilidad para acceder a todos los sectores en estudio	Si	No	
	Horarios y días en la semana en que puede ser inspeccionada la estructura			
	Necesidad del retiro del cielorraso	Si	No	
	Datos de contacto del personal responsable para el acceso			
Requerimientos para ejecutar los trabajos	Control de polvo en el área de trabajo	Si	No	
	Horarios específicos permitidos para trabajos que generen ruidos	Si	No	
	Equipos de protección especiales para ejecutar el trabajo	Si	No	
Recursos disponibles	Disponibilidad de agua en el predio	Si	No	
	Disponibilidad de energía eléctrica en el predio	Si	No	
	Espacio disponible para depósito provisorio	Si	No	
	Disponibilidad de iluminación adecuada para la inspección	Si	No	
Verificaciones previas	Altura de piso a techo en cada nivel			
	Distancia aproximada del sitio en estudio a la puenta de energía eléctrica			
Fenómenos presentes	Atmósfera con agentes agresivos (zona industrial)	Si	No	
	Sales fundentes / Piscinas	Si	No	
	Variaciones térmicas	Si	No	
	Variaciones de humedad	Si	No	
	Fugas en instalaciones de abastecimiento o drenaje	Si	No	
	Fallos en sistemas de permeabilidad	Si	No	
	Acumulación de cargas importantes	Si	No	

Tabla 6.5 Ficha 5 Daños con peligro de colapso.

Fuente. Elaboración propia

Tipo de daño	Fuente	Referencia
Fisuración en pilares por agotamiento de la resistencia del hormigón	Patologías de estructuras de hormigón armado y pretensado (p. 45), por J. Calavera, 2005	A.7.1.
Fisura en centro de vano por rotura frágil en flexión simple	Patologías de estructuras de hormigón armado y pretensado (p. 49), por J. Calavera, 2005	A.8.1
Fisura en una pieza sometida a flexión con cuantía alta	Patologías de estructuras de hormigón armado y pretensado (p. 51), por J. Calavera, 2005	A.8.3
Fisura en una pieza sometida a flexión con cuantía supracrítica	Patologías de estructuras de hormigón armado y pretensado (p. 52), por J. Calavera, 2005	A.8.4.
Fisuras por aplastamiento del hormigón en pilar	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.171) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 4.1
Fisuras por cortante en pilar	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.187) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 4.5
Fisuras horizontales por pandeo en pilar	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.186) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 4.4
Fisuras a 45º por cortante en vigas	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.226) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 5.3
Fisuras horizontales en vigas por aplastamiento del hormigón	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.237) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 5.7
Fisura en viga de tracción con cambio de inclinación	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.231) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 5.4
Fisura en viga por torsión con abertura en zona de tracción	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.236) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 5.6
Fisuras en losas por punzonamiento	Diagnosis y causas en patologías de la edificación (p.244) por Manuel Muñoz Hidalgo, 1994	Cap. 6.9

Tabla 6.6 Ficha 06. Propuesta en la fase inicial del modelo

Fuente. Elaboración propia.

Ficha / Propuesta de trabajos de evaluación									
Problemas que presenta		Estructura en construcción			Estructura existente				
		Presencia de fisuras /Defectos constructivos evidentes	Modificaciones del proyecto	Aumento del niveles de la estructura	Presencia de fisuras /Defectos constructivos evidentes	Incendio	Modificaciones del proyecto / cambio de uso	Problemas de asentamiento	Aumento del niveles de la estructura
Trabajos a realizar									
Inspección de la estructura	Relevamiento geométrico				*	*	*	*	*
	Relevamiento de daños	x	x	x	x	x	x	x	x
	Medición del espesor de fisuras	x	x	x	x	x	x	x	x
	Medición de la profundidad de fisuras	x	x	x	x	x	x	x	x
Evaluación de la resistencia	Esclerometría	x	x	x	x		x	x	x
	Pachometría	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ultrasonido	x	x	x	x	x	x	x	x
	Extracción de testigos	x	x	x	x	x	x	x	x
	Verificación con georradar	x	x	x	x	x	x	x	x
	Cálculo estructural	x	x	x	x	x	x	x	x
Evaluación de la durabilidad	Carbonatación				x		x	x	x
	Potencial de corrosión				x	x	x	x	x
	Resistividad eléctrica				x	x	x	x	x
Estudios de fundaciones	Verificación de las fundaciones			x			x	x	x
	Estudio de			x			*	*	*
	Ensayos de integridad			x			x	x	x

(*) Incluir en la propuesta si no se cuenta con esta documentación del proyecto

6.2 Fase de estudio

Previamente al inicio de los trabajos de evaluación tras la aprobación de la propuesta, se requieren algunas comprobaciones de manera a organizar el equipo de trabajo y los recursos que serán necesarios para la ejecución adecuada de actividades.

La revisión de estos aspectos permitirá proponer la fecha de inicio de los trabajos para poner al conocimiento del cliente y coordinar los últimos detalles que no hayan sido previstos anteriormente. En la **figura 6.2** se propone el procedimiento a seguir ante la aprobación por parte del cliente.

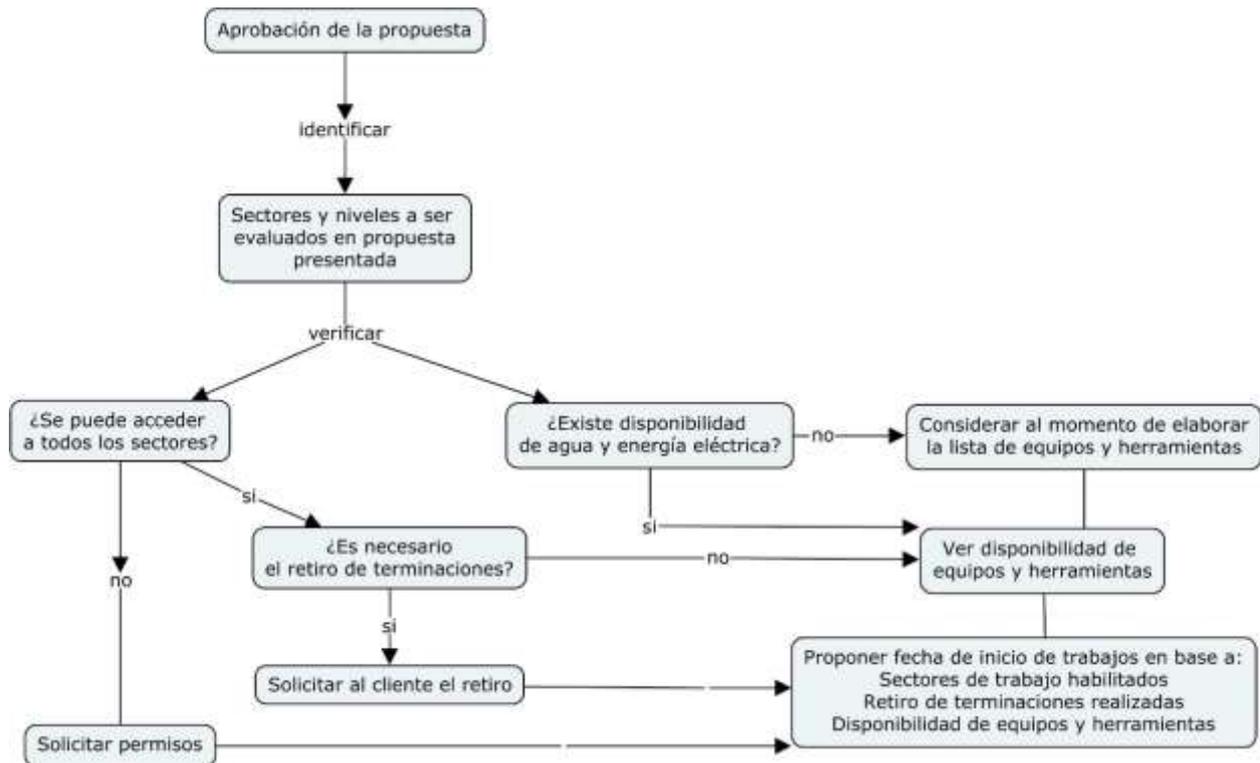


Figura 6.2. Propuesta de procedimientos a seguir ante la aprobación de la propuesta de evaluación.

Fuente. Elaboración propia

En la fase de estudio comprende aspectos para evaluar las condiciones de seguridad y de durabilidad de la estructura si fuese el caso. Para ello debe realizarse una investigación en campo que contemplen ensayos de información para conocer ciertas características de los elementos estructurales y actividades de relevamiento e inspección detallada que permita detectar anomalías que estén afectando a la estructura.

Luego de la investigación se realiza el análisis de los datos procesados y las verificaciones estructurales que complementen el trabajo a fin de lograr el diagnóstico correspondiente.

En la **figura 6.3** se proponen los procedimientos que involucran a la fase de estudio, además de los anejos y fichas elaboradas para la mejor gestión del análisis requerido.

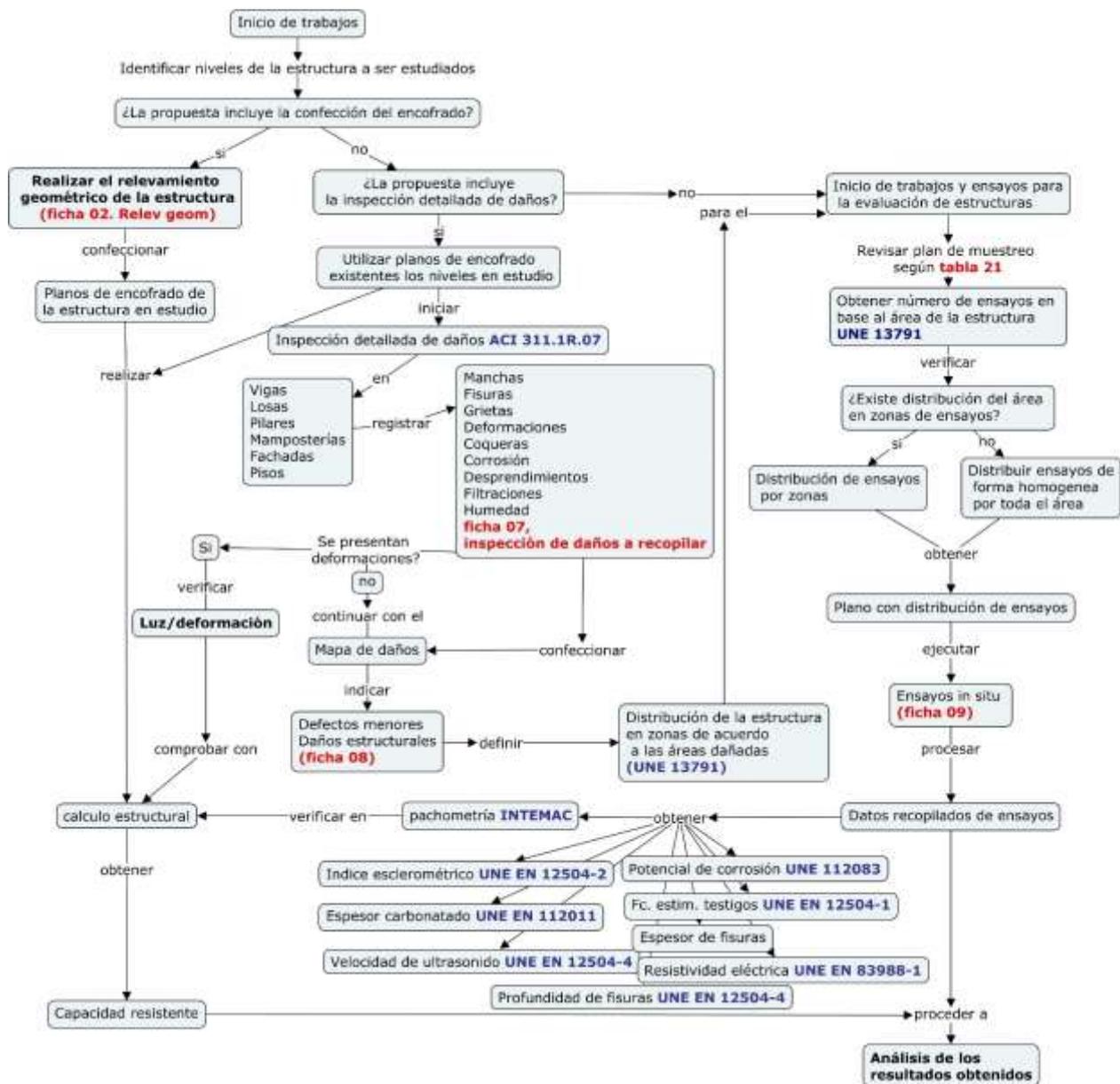


Figura 6.3. Propuesta de actividades a realizar en la fase de estudio.

Fuente. Elaboración propia

6.2.1 Relevamiento geométrico

Cuando la propuesta incluya la confección del encofrado, se requiere la recolección de datos relacionados a la geometría, ubicación de elementos, espesores y dimensiones correspondiente. Deben estar contemplados todos los elementos estructurales. La **ficha 02** detalla un listado de verificaciones a realizar en esta actividad, de modo a obtener la información completa que posteriormente será una pieza clave para los siguientes trabajos de evaluación y el análisis estructural si fuese el caso.

6.2.2 La inspección detallada de daños

En todos los casos de evaluación debe considerarse el relevamiento de daños, incluso si éste no fuese el problema de interés por parte del cliente. Las estructuras podrían presentar anomalías que no siempre se aprecian a simple vista y es necesario la inspección por parte de un profesional. Cualquier indicio de daños requieren ser analizados y caracterizados para comprender su trascendencia estructural ya que podría influir en los resultados del diagnóstico correspondiente.

Las consideraciones para realizar la inspección visual se detallan en el capítulo 11 de la norma **ACI 311.1R.07**. En la **ficha 07** se listan los daños que deben verificarse durante la inspección para cada elemento estructural. Se recomienda ubicar los daños en el plano de encofrado ya elaborado previamente o provisto por el cliente para identificar las áreas más afectadas de la estructura.

En la **ficha 08** se distinguen los daños revisados como estructurales y no estructurales. Aquellos daños de carácter estructural deben ser analizados y considerados al momento de elaborar la propuesta de ensayos. La norma **UNE 13791**, recomienda la distribución de ensayos por zonas cuando se identifican áreas dañadas.

6.2.3 Ensayos in situ

La propuesta del plan de ensayos se presenta en este apartado siguiendo las recomendaciones de la norma **UNE 13791**, donde se detalla la cantidad de ensayos en campo requerida, el volumen mínimo para cada zona de estudio y los diámetros que deben considerarse para la extracción de núcleos de hormigón. Se describen también otros aspectos en cuanto a la distribución recomendada y cantidad de lecturas para los ensayos a realizar.

Para cada ensayo a realizar, se mencionan las normativas relacionadas a los procedimientos que deben seguirse en cada caso. Es importante atender a las consideraciones mencionadas y aplicar de forma adecuada la metodología de ensayo en campo.

Los datos obtenidos de las actividades de campo deben ser procesados para posteriormente conocer los valores de resultados que presentan los elementos estructurales evaluados.

Los valores de ensayos no destructivos en conjunto con los valores de los testigos ensayados en laboratorio, serán utilizados para la estimación de la resistencia del hormigón (**Gavilán Martínez, 2011.**). La resistencia obtenida podrá utilizarse en la verificación del cálculo estructural.

No se admite la cuantificación de la resistencia a compresión del hormigón mediante solamente ensayos no destructivos como reemplazo al muestreo y ensayos de testigos de hormigón.

En cuanto a las regiones y ubicaciones de ensayo:

- ✓ Si existen distintos tipos de dosificaciones de hormigón, se consideran regiones de ensayos separadas.
- ✓ Las regiones de ensayos consideradas luego de la división, deben cumplir con los requisitos mínimos de una región de ensayo.
- ✓ La elección de las ubicaciones a ensayar está ligada a la ubicación general de la obra, el manejo y traslado de equipos, las condiciones de accesibilidad y el nivel de seguridad para el personal de obra.

- ✓ Se deben evitar zonas fisuradas, secciones muy solicitadas y sectores con barras de refuerzo.

Valores mínimos de resultados de ensayos:

En cuanto a testigos extraídos:

- ✓ Para diámetros de núcleos de hormigón mayores o iguales a 75 mm, el mínimo número de resultados de ensayos válidos para la estimación de la resistencia característica a la compresión in situ de una región de ensayo es ocho.
- ✓ Se recomienda la extracción en al menos diez ubicaciones para considerar valores atípicos.
- ✓ Si se cuenta con una reducida región de ensayo, el número mínimo puede ser menor.
- ✓ Si se realiza la combinación de la extracción de testigos con ensayos indirectos, el mínimo número de resultados de ensayos es tres. Se recomienda extraer al menos en cuatro ubicaciones para tener en cuenta valores atípicos.

En cuanto al índice de rebote:

- ✓ Se utiliza la mediana de al menos 9 lecturas válidas en una ubicación de ensayo

En cuanto a la medición de la velocidad de pulso ultrasónico:

- ✓ Puede utilizarse una sola medición de la velocidad medida de forma directa o indirecta en la sección de hormigón o la media de las lecturas si se realiza más de una medición en la ubicación de ensayo.

Deben considerarse los siguientes aspectos en cuanto a la extracción de núcleos:

- ✓ Seleccionar ubicaciones donde la resistencia del elemento sea menos afectada
- ✓ Ubicar las barras de acero con el uso de pachómetro
- ✓ El diámetro mínimo exigido por la ASTM C42 para núcleos de hormigón es de 94 mm.
- ✓ Para diámetros iguales o superiores a 75 mm, a excepción de que este procedimiento no sea práctico, la esbeltez recomendada es de 2:1 o 1:1.
- ✓ Cuando las armaduras de refuerzo no hacen posible la extracción con este diámetro mínimo, se emplean diámetros mayores o iguales a 50 mm.
- ✓ Puede extraerse un solo testigo si el diámetro está comprendido entre 50 mm y 75 mm y si el objetivo es definir la resistencia media sin la estimación a compresión en cada ubicación.
- ✓ Para llegar a el mismo nivel de confianza de resultados obtenidos en testigos de diámetros iguales o superiores a 75 mm, se requieren más testigos de un diámetro menor. Sin embargo, es posible alcanzar la misma confianza utilizando la resistencia media de una región de ensayo con el aumento del número de ubicaciones y con la extracción de un solo testigo de menor diámetro por ubicación.
- ✓ La tabla 4 de la norma UNE 13791:2020 presenta los requisitos para obtener un resultado de ensayo en una ubicación, en base a la relación diámetro altura y al diámetro del testigo. Detallando la necesidad de extraer 3 testigos de 50 mm de diámetro con una relación altura diámetro de 1:1, equivalente a la extracción de 1 testigo de diámetro igual o superior a 75 mm, con esbelteces de 2:1 y 1:1.

Tabla 6.7 Resumen de valores mínimos de resultados para ensayos en hormigón.

Fuente. Adaptado de UNE-EN 13791, 2021, p. 32.

Extracción de testigos	Valores mínimos de resultados			
	$\varnothing \geq 75$ mm		$\varnothing 50$ mm	
	Requerido	Recomendación mínima para valores atípicos	Requerido	Recomendación mínima para valores atípicos
Estimación in situ	8	10	24	30
Combinación con otros ensayos	3	4	9	12
Ensayos indirectos				
Valores mínimos de resultados				
Esclerometría (lecturas)	9			
Velocidad de ultrasonido (lecturas)	1			

Regiones de ensayo requeridas, (volumen 30 m ³)			
Número de regiones	Mínimo número de ubicaciones de ensayo		
	Extracción de testigos		Ensayos indirectos
	$\varnothing \geq 75$ mm	$\varnothing 50$ mm	
1	3	9	9
2 a 4	2	6	12
5 a 6	2	6	20

6.2.4 Verificación estructural

En cuanto a la **verificación al cálculo**, se debe realizar primeramente una actualización de las condiciones encontradas en campo, en cuanto a la sobrecarga de uso existente, las cargas adicionales que actúan en relación al proyecto original, y todos aquellos aspectos que modifiquen las características iniciales de la estructura.

En caso que no sea posible acceder a información relacionada a las características de los materiales, pueden utilizarse valores de las tablas 6.3.2a, 6.3.2b y 6.3.2c basado en datos históricos.

Los valores conocidos de propiedades de materiales proporcionados en los documentos de construcción, pueden ser utilizados, a excepción que se presenten deterioros importantes que afecten al rendimiento de los miembros.

Si no existe información relacionada a los datos históricos, el valor predeterminado para el límite elástico F_y se podrá considerar 230 MPa.

Puede realizarse la comprobación de estados límite de resistencia mediante métodos semiprobabilistas como se explicó en el apartado 3.2.2.3 del capítulo 3

6.2.5 Análisis de las condiciones de seguridad

Se analizan dos aspectos:

- La capacidad portante

En este procedimiento deben aplicarse métodos semi probabilistas a fin de obtener estimar la pérdida de la capacidad resistente de la estructura:

Se verificará el cumplimiento de la seguridad estructural si la probabilidad de fallo de la estructura dimensionada con las normas de las acciones y la resistencia requerida, es inferior a la probabilidad de fallo admisible calculada con los parámetros actualizados de variables involucradas en el cálculo.

- La aptitud de servicio

Se analiza el efecto de las acciones considerando valores actualizados luego de la información proveniente de los trabajos de evaluación. Se verifican los valores límites de estos efectos.

La información a ser analizada en este apartado es la relacionada a:

- Ensayos no destructivos para la estimación de la resistencia característica del hormigón
- Resultados de ensayos en núcleos de hormigón
- Valor de la resistencia estimada obtenida
- Verificación al cálculo estructural con las condiciones actualizadas de la situación existente

Una vez definido el valor de la resistencia estimada, mediante la correlación de los resultados de ensayos no destructivos y la aplicación de las fórmulas del apartado 3.2.6.5, capítulo 3, podrá realizarse el cálculo estructural mediante el software de análisis, con ello se obtendrán las secciones de acero necesarias y pueden ser comparadas con las secciones de acero encontradas en obra o recibidas en el proyecto.

El resumen de estos resultados puede definirse como se indica en la tabla 18 identificando el porcentaje de elementos que cumplen con los requerimientos mínimos.

Tabla 6.8 Resultados que se presentan con el ensayo de pachometría.

Fuente. Elaboración propia.

Pachometría	
Armadura encontrada en obra	Cumple con la verificación estructural
	No cumple con la verificación estructural

Otro indicador para la aptitud de servicio es el análisis de los daños encontrados los cuales pueden caracterizarse de acuerdo a su origen y la información del relevamiento de fisuras como se indica en la tabla 25.

- Mapa de daños de carácter estructural

Tabla 6.9 Resumen de resultados para verificaciones de fisuras.

Fuente. Elaboración propia.

Origen estructural	Espesores de fisuras razonables (Según condición de exposición)					Profundidad de fisuras (según el espesor de su sección)			
	Aire seco	Aire humedo	Productos químicos	Agua de mar	Estructuras para retención de agua	< 10% del espesor	10% a 20% del espesor	20% a 80% del espesor	100% del espesor
Daños de trascendencia estructural	0,41	0,3	0,18	0,15	0,1	Superficiales	Someras	Profundas	Pasantes

El criterio adoptado para definir las condiciones de aptitud de servicio de la estructura es el siguiente:

Cuando se cumple que el efecto de las acciones consideradas en el dimensionamiento de una estructura es inferior al valor máximo admisible establecido para dicho efecto, se establece que la estructura cumple satisfactoriamente con el comportamiento para el periodo de servicio restante en relación a un determinado criterio. (CTE DBSE, 2019, p.37)

6.2.6 Análisis de las condiciones de durabilidad

La información a ser analizada en este apartado es la relacionada a:

- Resultados de ensayos de carbonatación del hormigón

Tabla 6.10 Resultados que pueden obtenerse del ensayo de carbonatación.

Fuente. Elaboración propia.

Ensayo de carbonatación	
Resultados obtenidos	
Espesor de recubrimiento	0% carbonatado
	Parcialmente carbonatado
	100% carbonatado

- Resultados de ensayo de potencial de corrosión

Tabla 6.11 Probabilidad de corrosión para valores obtenidos del ensayo de potencial de corrosión

Fuente. Adaptado *Evaluación de estructuras de hormigón armado*, 2019

Potencial de acero versus electrodo de referencia de cobre / sulfato de cobre	Probabilidad de corrosión
Más positivo que -200 mV	Menos del 10%
Entre -200 mV y -350 mV	Desconocido
Más negativo que -350 mV	Más del 90%

- Resultados de ensayo de resistividad eléctrica

Tabla 6.12 Agresividad del hormigón para valores obtenidos del ensayo de resistividad.

Fuente. Adaptado *Evaluación de estructuras de hormigón armado*, 2019

Rango de resistividad eléctrica (ρ) k Ω cm	Agresividad del hormigón
>200	Bajo
20 200	Moderado
<20	Alto

- Mapa de daños generales encontrados

Tabla 6.13 Resumen de verificaciones para fisuras catalogadas como daños menores.

Fuente. Elaboración propia.

Origen estructural	Espesores de fisuras razonables (Según condición de exposición)					Profundidad de fisuras (según el espesor de su sección)			
	Aire seco	Aire humedo	Productos químicos	Agua de mar	Estructuras para retención de agua	< 10% del espesor	10% a 20% del espesor	20% a 80% del espesor	100% del espesor
Defectos menores	0,41	0,3	0,18	0,15	0,1	Superficiales	Someras	Profundas	Pasantes

6.2.7 Herramientas de gestión propuestas en la fase de estudio

Tabla 6.14 Ficha 07. Propuesta en la fase estudio del modelo

Fuente. Elaboración propia.

Elemento	Tipo de daño	Marcar con "X"
Vigas	Fisuras verticales en vigas	
	Fisuras en cara inferior cercanas a pilar con asentamiento	
	Fisura en configuración "piel de cocodrilo" en zona extrema de pieza en unión de hormigón armado con prefabricado	
	Fisuras por flexión que nacen de la cara inferior y van en dirección al centro del vano	
	Fisuras muy finas en la cara de tracción y presencia de fisuras horizontales en zona comprimida	
	Fisuras inclinadas paralelas entre sí con separación apreciable y ancho variable	
	Fisuras inclinadas en unión con elemento prefabricado	
	Fisuras del tipo helicoidal con espesor muy pequeño	
	Fisuras inclinadas en zona de apoyos que nacen de la cara superior	
	Fisura en cara superior sobre apoyos	
	Fisuras en encuentro de vigas. Zona inferior con fisuras inclinadas	
	Fisuración simultanea en zonas de momentos positivos y negativos	

Tabla 6.15 Ficha 07. Propuesta en la fase estudio del modelo (Continuación)

Fuente. Elaboración propia.

Elemento	Tipo de daño	Marca con "x"
Pilar	Falta de verticalidad	
	Fisuras verticales en cabeza de pilares	
	Fisuras verticales de ancho variable y poca separación	
	Varias fisuras paralelas a la directriz del pilar. Espesor pequeño	
	Fisura inclinada de pequeño ancho	
	Fisuras verticales de pequeño espesor paralelas entre sí en nudo del pilar	
	Fisuras verticales superpuestas con las armaduras principales	
	Fisuras de dirección sensiblemente horizontal en pilares con zapata lindera	
	Fisuras horizontales en cabeza de pilar	
Muros	Fisuras verticales en zona superior	
	Fisuras verticales de ancho variable y poca separación entre sí	
	Fisuras en mapa	
	Fisuras horizontales en unión con losa	
Losas	Fisuras alrededor de pilares y en dirección radial a ellos	
	Fisuras de borde en punta de voladizo	
	Fisuras en malla o en estrella	
	Fisuras de distribución aleatoria con depósitos blancos en bordes	
	Fisuras a 45° que van del centro de la losa a apoyos	
	Fisuras en mapa	
Tabiques /Mampostería/ Cerramientos	Fisuras en unión con elementos estructurales	
	Fisuras en esquinas de huecos	
	Rotura de azulejos	
	Fisuras en trayectoria de juntas de ladrillos de mampostería	
	Fisura sensiblemente vertical a la zona central del vano	
	Fisuras próximas al techo	
	Fisuración del tramo superior de cerramiento marcando la posición de la losa	
Ménsulas	Fisuras verticales y dispersas en zona de alta densidad de armaduras	
	Fisuras con ancho variable que nacen en la cara superior y van en dirección al centro del pilar	
	Fisuras paralelas de pequeño espesor hacia la cara inclinada de la ménsula	
General	Armadura expuesta	
	Recubrimiento inadecuado	
	Desplazamiento de armaduras	
	Separación insuficiente de armaduras	
	Hundimientos	
	Interferencia de la estructura con las instalaciones	
	Deformaciones	
	Pérdida de sección de armaduras	
	Coqueras	
	Manchas de óxido en posición de armaduras	
	Desprendimientos	
	Filtraciones	
	Presencia de musgos	
Eflorescencia		

Tabla 6.16 Ficha 08. Propuesta en la fase estudio del modelo

Fuente. Elaboración propia.

Tipo de daño	Elemento	Descripción	Marcar con una X si se observan	Referencia (Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado. Tomo II)	Referencia (Manual de patología de la edificación)
Daños de origen estructural	Pilares	Fisuras por tracción pura en tirantes y muros		A.6	
		Fisuras por tracción en pilares			L. 8.5
		Fisuras por flexión y torsión			
		Fisuras por compresión centrada en pilares		A.7	L. 8.1
		Fisuras de flexión compuesta en pilares		A.9	L. 8.4
		Fisuras por flexión por pandeo en pilares			L. 8.6
		Fisuras de esfuerzo cortante en pilares			L. 8.3
	Vigas	Fisuras de esfuerzo cortante en vigas		A.10	L. 9.4
		Fisuras por flexión y cortante en vigas			L. 9.11
		Fisuras por flexión y torsión en vigas			L. 9.12
		Fisuras de flexión simple en vigas		A.8	L. 9.1
		Fisuras por compresión en cara inferior de vigas			L. 9.6
		Fisuras por cortante por flexión lateral en vigas			L. 9.5
		Fisuras de esfuerzo rasante en vigas		A.12	L. 9.3
Losas	Fisuras por torsión en vigas		A.1.1 al A.13	L. 9.8 a L.9.10	
	Fisuras por compresión en losas			L. 16.3	
	Fisuras por flexión en zona superior de losas			L. 16.2	
	Fisuras por flexión en zona inferior de losas			L. 16.1	
Daños de origen no estructural	Pilares, losas, vigas	Fisuras de punzonamiento en losas		A.11	L. 16.4
		Fisuras por asiento plástico		A.1.1 al A.1.7	
		Fisuras por movimiento del encofrado		A.1.8	
		Fisuras por retracción plástica		A.2	L.9.16
		Fisuras por contracción térmica inicial		A.3	L.9.17
		Fisuras por retracción hidráulica		A.4	L. 8.10 y L.9.16
		Fisuras en mapa		A.5	
		Fisuras por corrosión		A.18	L. 8.7, L.8.8, L.9.18 a L.9.22,L.16.6

Tabla 6.17 Ficha 09. Resumen de normativas y ensayos relacionados descriptos.

Fuente. Elaboración propia.

Normativa	Procedimiento que describe
UNE 112083	Medición del potencial de corrosión libre en estructuras de hormigón armado
UNE 112011	Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio
UNE 83988-1	Determinación de la resistividad eléctrica
UNE 12504-4	Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 4: Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos
UNE 12504-2	Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 2: Ensayos no destructivos. Determinación del índice de rebote.
une 12504-1	Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 1: Testigos. Extracción, examen y ensayo a compresión.

6.3 Fase de diagnóstico

6.3.1 Análisis de resultados obtenidos

Diagnóstico en base a los resultados obtenidos:

- Seguridad de la estructura

Si luego de la verificación por métodos semiprobabilistas, se comprueba que la probabilidad de fallo obtenida considerando las normas establecidas y la resistencia requerida es inferior a la probabilidad de fallo admisible determinada con la actualización de los parámetros de cálculo involucrados, se establece que la estructura cumple satisfactoriamente con la seguridad estructural.

- Aptitud de servicio:

Sí para las condiciones de dimensionamiento, el efecto de las acciones no supera el valor máximo admisible establecido para el efecto considerado, se establece que la estructura tiene un comportamiento adecuado para el periodo de servicio restante.

- Durabilidad de la estructura

Si los resultados de los ensayos de carbonatación, potencial de corrosión y resistividad eléctrica, comprueban una alta probabilidad de corrosión y agentes agresivos en el hormigón. Además de un recubrimiento altamente carbonatado.

Diagnóstico cualitativo:

- Capacidad portante:

Puede establecerse que la estructura ha sido dimensionada y construido de acuerdo a las normas establecidas y cuenta con una capacidad portante adecuada cuando:

- ✓ Se ha utilizado la estructura por un periodo de tiempo suficiente sin detectar daños o anomalías
- ✓ Durante los trabajos de inspección estructural no fueron encontrados daños o deterioros
- ✓ Las cargas de los elementos se transmiten de manera adecuada a través del sistema constructivo.
- ✓ En el transcurso del tiempo no fueron realizadas modificaciones que incrementen las acciones en la estructura.
- ✓ No se anticipan cambios futuros que puedan incrementar las acciones sobre el edificio.

▪ Durabilidad de la estructura:

La estructura cuenta con una durabilidad adecuada si:

- ✓ Considerando el deterioro previsible y las acciones de mantenimiento proyectadas, se anticipa una adecuada durabilidad
- ✓ En el transcurso del tiempo no fueron realizadas modificaciones que afecten a la durabilidad
- ✓ No se anticipan cambios futuros que puedan afectar la durabilidad de manera significativa.

▪ Aptitud de servicio:

Puede establecerse que la estructura ha sido dimensionada y construido de acuerdo a las normas establecidas y se considera apta para el servicio cuando:

- ✓ En la estructura no se han producido daños o anomalías ni presentado deformaciones o vibraciones excesivas durante un periodo de tiempo suficiente.
- ✓ Durante los trabajos de inspección estructural no fueron encontrados daños o deterioros ni desplazamientos o vibraciones excesivas

▪ Seguridad de la estructura:

- ✓ Si se comprueba que la estructura cuenta con una seguridad estructural adecuada, puede ser utilizada con las condiciones establecidas. Se recomienda la propuesta de un plan de inspección y mantenimiento en base a las características y la magnitud de la estructura.
- ✓ Si no se demuestra una adecuada seguridad estructural, se propondrán recomendaciones relacionadas a los resultados de la evaluación.

6.3.2 Redacción del informe final

La información a presentar en este documento se detalla a continuación:

- ✓ Antecedentes: Puede citarse el informe preliminar si fuese el caso e incluir incidencias que hayan ocurrido para el planteamiento del programa de evaluación.
- ✓ Información disponible: Actualizando la especificada en el informe preliminar si existieran variaciones al respecto.
- ✓ Resumen de trabajos realizados y resultados obtenidos
- ✓ Verificación estructural y contrastación de resultados con el diseño de elementos proveído
- ✓ Análisis de los resultados obtenidos
- ✓ Verificación de la capacidad resistente de la estructura
- ✓ Análisis de las condiciones de durabilidad

- ✓ Conclusiones y recomendaciones

6.4 Propuesta para líneas futuras de investigación.

El estudio computacional de los elementos estructurales mediante softwares avanzados de cálculo.

Estudio de los daños presentes en los elementos no estructurales y su influencia en los elementos estructurales.

Estudios de vibraciones para las verificaciones de las condiciones de servicio de la estructura existentes.

7 Ejemplo de aplicación.

7.1 Descripción:

Se trata de una estructura de 5 niveles de piso y un subsuelo, construida en el año 1999. El proyecto original se basa en un edificio cuyo uso previsto es de apartamentos. No fue culminada la ejecución y fue alcanzada la etapa de estructura de hormigón. Los planos existentes indican que el proyecto fue considerado para 12 niveles de piso.

La solicitud recibida por parte del cliente fue la de evaluar las condiciones de seguridad de la estructura para construir más niveles de piso sobre el existente. En la **fotografía 1**, se presenta una vista general del edificio existente.



Fotografía 7.1 Edificio existente. Vista general.

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

7.2 Fase inicial

7.2.1 Recopilación de información

Los datos iniciales comentados por el cliente permiten formar una idea preliminar de la situación presente. Con esta información es posible completar la Ficha 01 propuesta en el modelo.

Tabla 7.1 Ficha 01. Ejemplo de aplicación.

Fuente. Elaboración propia.

Ficha 01/ Recopilación de datos iniciales							
Indicar el motivo de la	Solicitar	Disponen		Indicar con una "x" en la casilla		Consultar	Observaciones
				Tipo de estructura	Tipo de uso		
Cambio de uso de la estructura	Planos del proyecto modificado si lo	Si	No	Edificio	Oficinas	Niveles que serán afectados	
					Departamentos		
	Planos del proyecto actual	Si	No		Local comercial	Tipo de uso a darle a la estructura existente	
					Salón de eventos		
	Fotografías de la estructura actual	Si	No		Centro educativo	Ubicación de la estructura	
			Centro de salud				
			Industria				
			Vivienda unifamiliar		Otros		
			Otro				
Estructura afectada por incendio	Fotografías de la estructura afectada	Si	No	Edificio	Oficinas	Fecha del siniestro	
					Departamentos	Niveles afectados	
	Planos del proyecto actual	Si	No		Local comercial		
					Salón de eventos	Ubicación de la estructura	
	Informe de causas del siniestro (si lo hubiera)	Si	No		Centro educativo		
			Centro de salud	Otros			
			Industria				
			Vivienda unifamiliar				
			Otro				
Presencia de daños importantes en la estructura	Fotografías de la estructura afectada	Si	No	Edificio	Oficinas	Niveles afectados	
					Departamentos	Antecedentes de refuerzos	
	Planos del proyecto actual	Si	No		Local comercial	Antecedentes de modificaciones realizadas en la estructura	
					Salón de eventos		
	Informes de inspecciones previas	Si	No		Centro educativo	Ubicación de la estructura	
			Centro de salud	Detalles de los tipos de daños aparentes			
			Industria	Otros			
			Vivienda unifamiliar				
			Otro				
Aumentar el número de niveles de la estructura existente	Planos del proyecto modificado si lo hubiera	Si	No	Edificio	Oficinas	Uso a darle a los nuevos niveles	Departamentos
					Departamentos		
	Planos del proyecto actual	Si	No		Local comercial	Ubicación de la estructura	
					Salón de eventos		
	Fotografías de la estructura actual	Si	No		Centro educativo	Otros	
			Centro de salud				
			Industria				
			Vivienda unifamiliar				
			Otro				

Una vez conocido el escenario, comprendido el problema existente y distinguiendo la documentación con que se dispone, cada aspecto de forma generalizada, se procede a recabar datos adicionales que posteriormente podrán servir para un análisis detallado de la situación.

En la **ficha 03**, se presenta la información adicional obtenida de la estructura. Se incluye también un apartado de datos administrativos que si bien, no aportan al análisis correspondiente a la evaluación, agilizan ciertas gestiones al momento de la aprobación de la propuesta si fuese el caso.

Además, se busca identificar posibles antecedentes o fenómenos que hayan podido afectar a la estructura durante su vida útil.

Tabla 7.2 Ficha 03. Ejemplo de aplicación.

Fuente. Elaboración propia.

Ficha de recopilación de la información para el análisis		
Categoría	Descripción	Detalles
Datos administrativos	Cliente:	Ing. Guido Ortiz
	Nombre o razón social:	
	Ruc:	
	Teléfono:	
	Correo:	
Datos de la estructura	Fecha de la visita:	3/11/2021
	Nombre del edificio:	Alberdi
	Número de pisos:	4 plantas tipo + Planta baja
	Número de subsuelos:	1
	Año de construcción:	1999
	Normativa de cálculo empleada:	no hay información
Información disponible	Estudio de suelos:	no
	Planos arquitectónicos:	no
	Memoria de cálculo:	no
	Detalles de armado:	si
	Resultados de ensayos a compresión del Hº:	no
	Especificaciones de la resistencia del proyecto:	18 MPa
	Plano de fundaciones:	si
Materiales / Terminaciones	Techo/Cubierta:	no
	Mampostería interior:	no
	Mampostería en fachada:	no
	Tabiquería:	no
	Cielorraso:	no
	Piso:	no
Antecedentes / fenómenos ocurridos	Incendios:	no
	Desmoronamientos:	no
	Cambios bruscos de temperatura:	no
Antecedentes estructurales	Cambios en el proceso constructivo:	no
	Parada de obra por un periodo importante:	Si. Ejecución hasta etapa de hormigón en el año
	Intervenciones realizadas anteriormente:	
	Otros:	

Esta información puede ser contrastada en campo, al momento de la inspección inicial donde se verifica a correspondencia de la documentación recibida, que luego deberá considerarse al momento de elaborar la propuesta de evaluación.

Durante esta inspección, pueden además verificarse otros aspectos relacionados al inicio de los trabajos que no requieren de equipos adicionales ni tiempo excesivo, se basan en observar y registrar la existencia de ciertos recursos, las condiciones de accesibilidad a ciertos sectores, y la presencia de fenómenos que puedan alterar las características de la estructura. Estos aspectos se recopilan en la ficha 04 como se muestra a continuación:

Tabla 7.3 Ficha 04. Ejemplo de aplicación.

Fuente. Elaboración propia.

Ficha/Aspectos previos al inicio de los trabajos				
Categoría	Aspectos a verificar	Indicar		Observaciones
Condiciones de acceso	Disponibilidad para acceder a todos los sectores en estudio	Si	No	Un sector del subsuelo con nivel de agua por encima del nivel de piso
	Horarios y días en la semana en que puede ser inspeccionada la estructura			Horario normal de jornada laboral
	Necesidad del retiro del cielorraso	Si	No	
	Datos de contacto del personal responsable para el acceso			
Requerimientos para ejecutar los trabajos	Control de polvo en el área de trabajo	Si	No	
	Horarios específicos permitidos para trabajos que generen ruidos	Si	No	
	Equipos de protección especiales para ejecutar el trabajo	Si	No	
Recursos disponibles	Disponibilidad de agua en el predio	Si	No	
	Disponibilidad de energía eléctrica en el predio	Si	No	
	Espacio disponible para depósito provisorio	Si	No	
	Disponibilidad de iluminación adecuada para la inspección	Si	No	
Verificaciones previas	Altura de piso a techo en cada nivel			SS1:-2.60; PB: 0.60; N1: 4.375; N2: 7.35; N3: 10.325; N4: 13.325
	Distancia aproximada del sitio en estudio a la fuente de energía eléctrica			Sin fuente de energía dentro del predio
Fenómenos presentes	Atmósfera con agentes agresivos (zona industrial)	Si	No	
	Salas fundentes / Piscinas	Si	No	
	Variaciones térmicas	Si	No	
	Variaciones de humedad	Si	No	
	Fugas en instalaciones de abastecimiento o drenaje	Si	No	
	Fallos en sistemas de permeabilidad	Si	No	
	Acumulación de cargas importantes	Si	No	

7.2.2 Cálculo preliminar:

De la inspección preliminar se comprobó la presencia de daños importantes y deterioros que no pueden considerarse como menores. Por tanto no se realiza la verificación de este apartado si no que se procede a la evaluación de la estructura.

7.2.3 Diagnóstico previo:

- ✓ Se observan sectores muy deteriorados por corrosión y defectos constructivos en miembros estructurales.
- ✓ No se observan situaciones que requieran al apuntalamiento de la estructura, la misma se encuentra sin uso por lo que tampoco requiere desalojo.
- ✓ La estructura presenta distintas fisuras en varias regiones, sin embargo, no se han registrado antecedentes que indiquen un comportamiento inadecuado a lo largo de los años por lo que se descarta la necesidad de medidas de actuación previas al trabajo de evaluación.

7.2.4 Informe preliminar:

Tabla 7.4 Ficha 04. Ejemplo de aplicación.

Fuente. Elaboración propia

Informe preliminar	
Antecedentes	Edificio construido en el año 1999 hasta la etapa de estructura de hormigón. Cuenta con 5 niveles losa y el proyecto original está previsto con 12 niveles.
Información disponible	Se cuenta con los planos estructurales del proyecto. No así con los planos arquitectónicos y la memoria de cálculo.
Resultados de la inspección preliminar	Se presentan daños por corrosión, defectos constructivos, fisuras en elementos estructurales.
Análisis preliminar	No se observa la necesidad de medidas de apuntalamiento con los daños presentes en la estructura.
Conclusiones	Se requiere de una evaluación de toda la estructura que incluya el relevamiento detallado de daños, el estudio de la resistencia y durabilidad a fin de determinar su aptitud de servicio para el uso futuro.

7.2.5 Propuesta de evaluación presentada:

Tabla 7.5 Ficha 06. Ejemplo de aplicación.

Fuente. Elaboración propia.

Ficha / Propuesta de trabajos de evaluación									
Problemas que presenta Trabajos a realizar		Estructura en construcción			Estructura existente				
		Presencia de fisuras /Defectos constructivos evidentes	Modificaciones del proyecto	Aumento del niveles de la estructura	Presencia de fisuras /Defectos constructivos evidentes	Incendio	Modificaciones del proyecto / cambio de uso	Problemas de asentamiento	Aumento del niveles de la estructura
Inspección de la estructura	Relevamiento geométrico				*	*	*	*	*
	Relevamiento de daños	x	x	x	x	x	x	x	x
	Medición del espesor de fisuras	x	x	x	x	x	x	x	x
	Medición de la profundidad de fisuras	x	x	x	x	x	x	x	x
Evaluación de la resistencia	Esclerometría	x	x	x	x		x	x	x
	Pachometría	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ultrasonido	x	x	x	x	x	x	x	x
	Extracción de testigos	x	x	x	x	x	x	x	x
	Verificación con georradar	x	x	x	x	x	x	x	x
	Cálculo estructural	x	x	x	x	x	x	x	x
Evaluación de la durabilidad	Carbonatación				x		x	x	x
	Potencial de corrosión				x	x	x	x	x
	Resistividad eléctrica				x	x	x	x	x
Estudios de fundaciones	Verificación de las fundaciones			x			x	x	x
	Estudio de suelos			x			*	*	*
	Ensayos de integridad			x			x	x	x

7.3 Fase de estudio:

Con la recopilación de información antes del inicio de esta etapa se constató:

- ✓ Se deben evaluar todos los niveles de la estructura
- ✓ Es posible acceder a todos los sectores a excepción de la zona del subsuelo con el nivel freático por encima del nivel de piso
- ✓ En el predio no se dispone de agua ni energía eléctrica
- ✓ La estructura no cuenta con terminaciones por lo que no es necesario el retiro de estos para realizar la inspección
- ✓ No se cuenta con iluminación adecuada en todos los sectores

7.3.1 Relevamiento geométrico:

Se realizó la contrastación en campo de los planos de encofrado. Se elaboró el plano con las modificaciones correspondientes:

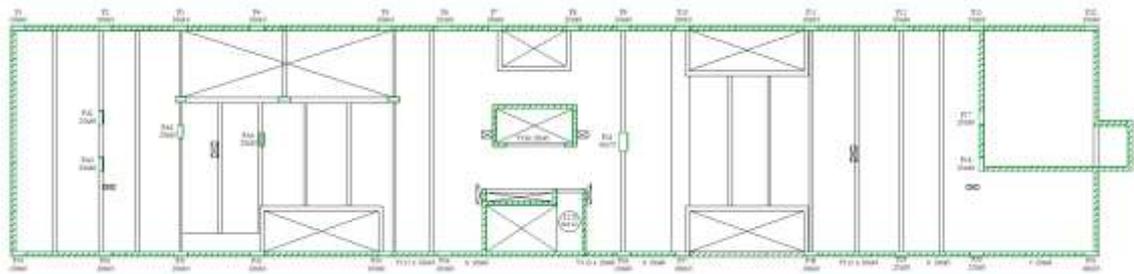


Figura 7.1. Encofrado Subsuelo.

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

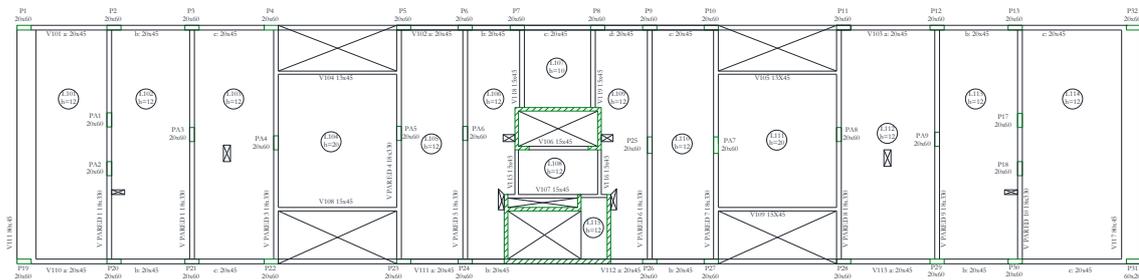


Figura 7.2. Encofrado planta baja

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

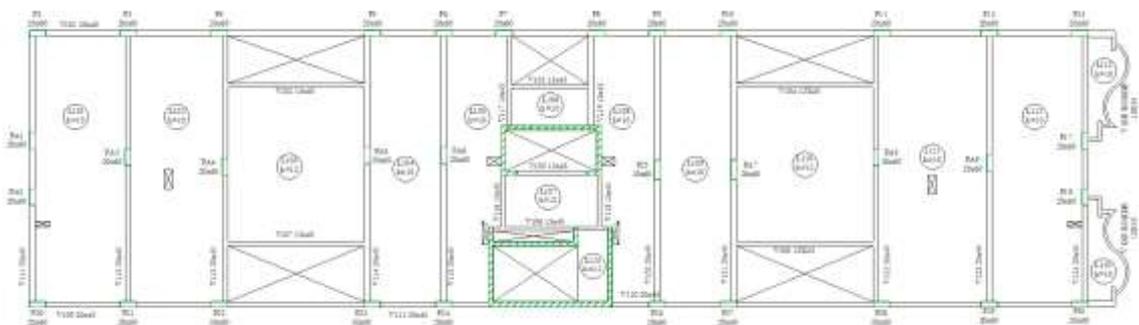


Figura 7.3. Encofrado planta tipo

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

7.3.2 Relevamiento de daños

Tabla 7.6 Ficha 07. Identificación de daños en la estructura

Fuente. Elaboración propia.

Elemento	Tipo de daño	Marcar con "X"
Vigas	Fisuras verticales en vigas	x
	Fisuras en cara inferior cercanas a pilar con asentamiento	x
	Fisura en configuración "piel de cocodrilo" en zona extrema de pieza en unión de hormigón armado con prefabricado	
	Fisuras por flexión que nacen de la cara inferior y van en dirección al centro del vano	
	Fisuras muy finas en la cara de tracción y presencia de fisuras horizontales en zona comprimida	
	Fisuras inclinadas paralelas entre sí con separación apreciable y ancho variable	x
	Fisuras inclinadas en unión con elemento prefabricado	
	Fisuras del tipo helicoidal con espesor muy pequeño	
	Fisuras inclinadas en zona de apoyos que nacen de la cara superior	
	Fisura en cara superior sobre apoyos	
	Fisuras en encuentro de vigas. Zona inferior con fisuras inclinadas	x
	Fisuración simultanea en zonas de momentos positivos y negativos	

Tabla 7.7 Ficha 07. Identificación de daños en la estructura (Continuación)

Fuente. Elaboración propia.

Elemento	Tipo de daño	Marcar con "X"
Pilar	Falta de verticalidad	
	Fisuras verticales en cabeza de pilares	
	Fisuras verticales de ancho variable y poca separación	
	Varias fisuras paralelas a la directriz del pilar. Espesor pequeño	
	Fisura inclinada de pequeño ancho	
	Fisuras verticales de pequeño espesor paralelas entre sí en nudo del pilar	
	Fisuras verticales superpuestas con las armaduras principales	x
	Fisuras de dirección sensiblemente horizontal en pilares con zapata lindera	
	Fisuras horizontales en cabeza de pilar	x
Muros	Fisuras verticales en zona superior	
	Fisuras verticales de ancho variable y poca separación entre sí	
	Fisuras en mapa	
	Fisuras horizontales en unión con losa	
Losas	Fisuras alrededor de pilares y en dirección radial a ellos	x
	Fisuras de borde en punta de voladizo	
	Fisuras en malla o en estrella	x
	Fisuras de distribución aleatoria con depósitos blancos en bordes	
	Fisuras a 45° que van del centro de la losa a apoyos	x
	Fisuras en mapa	
Tabiques /Mampostería/ Cerramientos	Fisuras en unión con elementos estructurales	
	Fisuras en esquinas de huecos	
	Rotura de azulejos	
	Fisuras en trayectoria de juntas de ladrillos de mampostería	
	Fisura sensiblemente vertical a la zona central del vano	
	Fisuras próximas al techo	
	Fisuración del tramo superior de cerramiento marcando la posición de la losa	
Ménsulas	Fisuras verticales y dispersas en zona de alta densidad de armaduras	
	Fisuras con ancho variable que nacen en la cara superior y van en dirección al centro del pilar	
	Fisuras paralelas de pequeño espesor hacia la cara inclinada de la ménsula	
General	Armadura expuesta	x
	Recubrimiento inadecuado	x
	Desplazamiento de armaduras	
	Separación insuficiente de armaduras	
	Hundimientos	
	Interferencia de la estructura con las instalaciones	
	Deformaciones	x
	Pérdida de sección de armaduras	x
	Coqueras	x
	Manchas de óxido en posición de armaduras	x
	Desprendimientos	x
	Filtraciones	x
	Presencia de musgos	x
Eflorescencia		

Se realizó el relevamiento de daños, en cada nivel, se presenta la ubicación de daños en cada plano

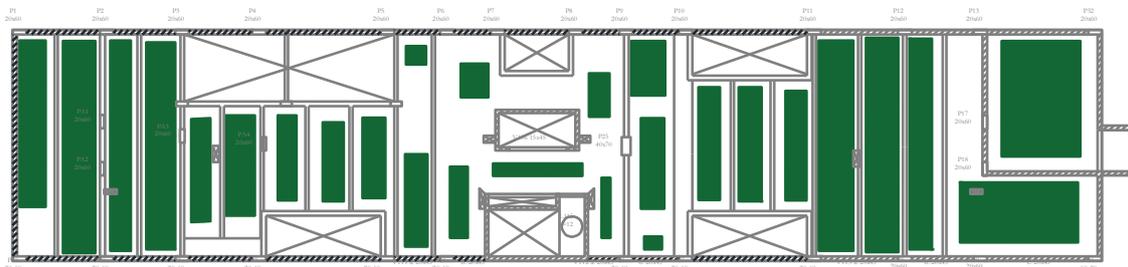


Figura 7.4. Daños en techo de subsuelo.

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

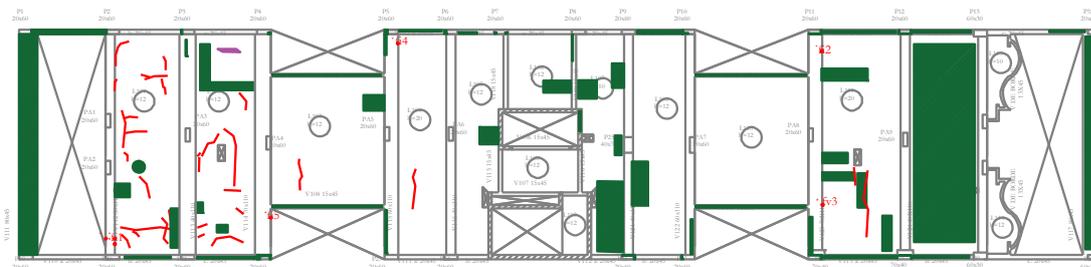


Figura 7.5. Daños en techo de planta baja.

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

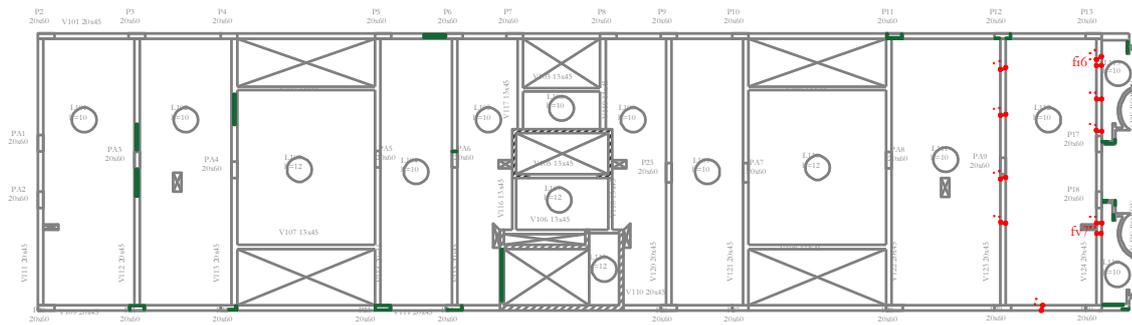


Figura 7.6. Daños en techo de primer piso.

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

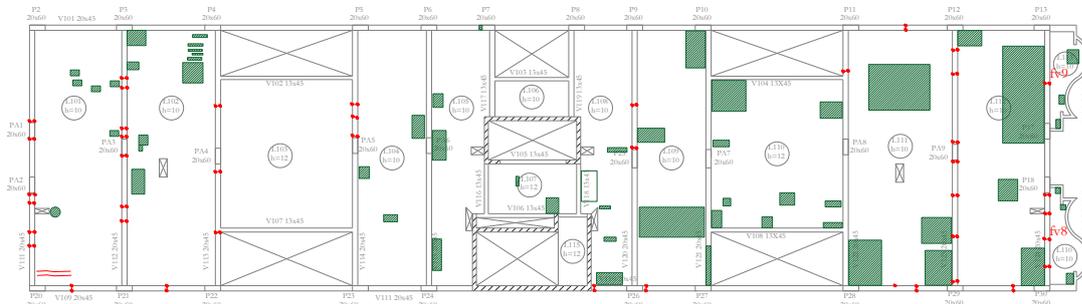


Figura 7.7. Daños en techo de segundo piso.

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

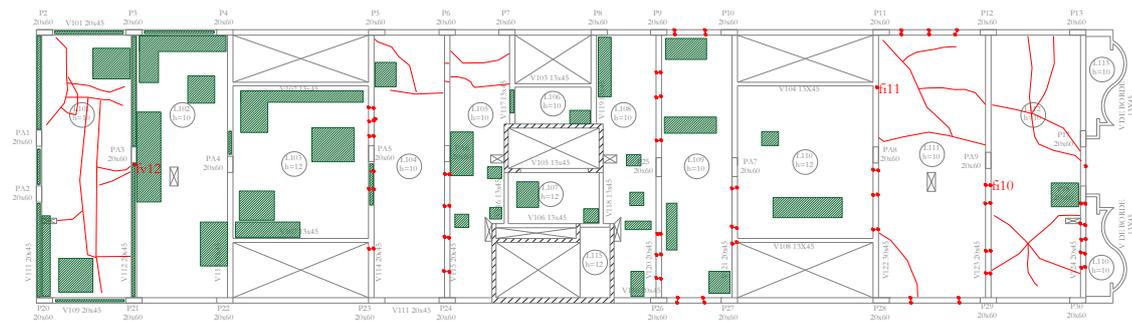


Figura 7.8. Daños en techo de tercer piso.

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

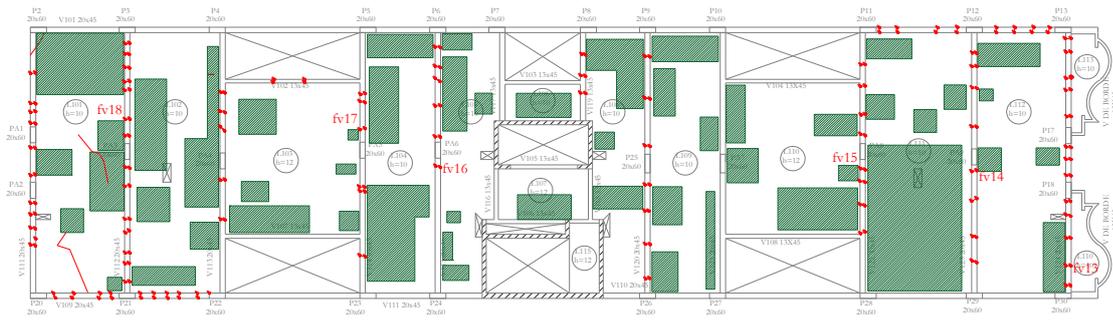


Figura 7.9. Daños en techo de cuarto piso

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

Tabla 7.8 Referencia de daños.

Fuente. Elaboración propia.

REFERENCIAS DE DAÑOS	
Corrosion	
Fisuras en losas	
Fisuras en vigas	

7.3.3 En cuanto a las regiones y ubicaciones de ensayo:

Se encuentran daños de forma generalizada en todas las regiones de la estructura. La distribución de ensayos fue realizada de manera uniforme en toda el área como se muestra a continuación

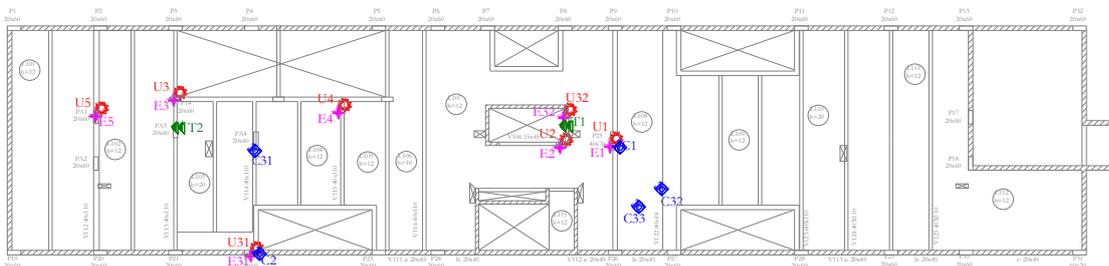


Figura 7.10. Ensayos en techo de subsuelo

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

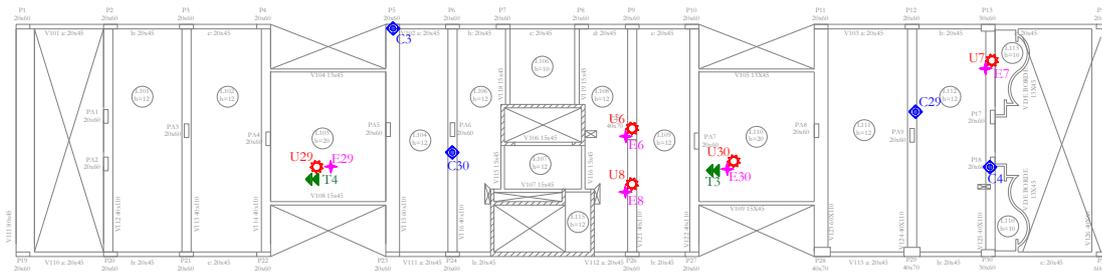


Figura 7.11. Ensayos en techo de planta baja

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

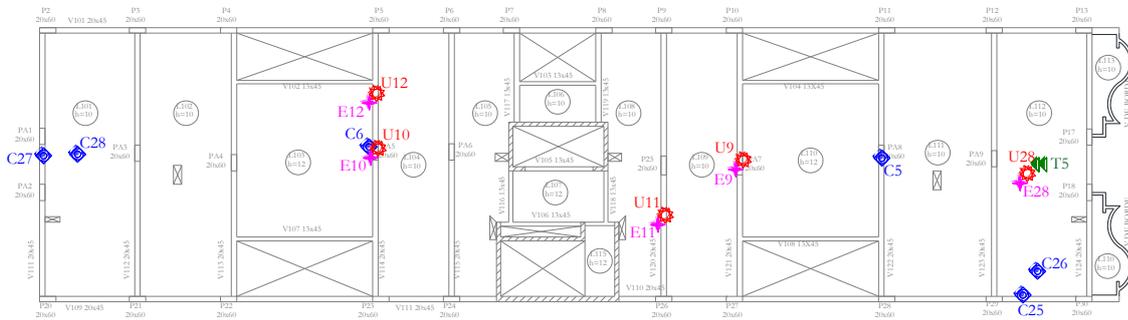


Figura 7.12. Ensayos en techo de primer piso

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

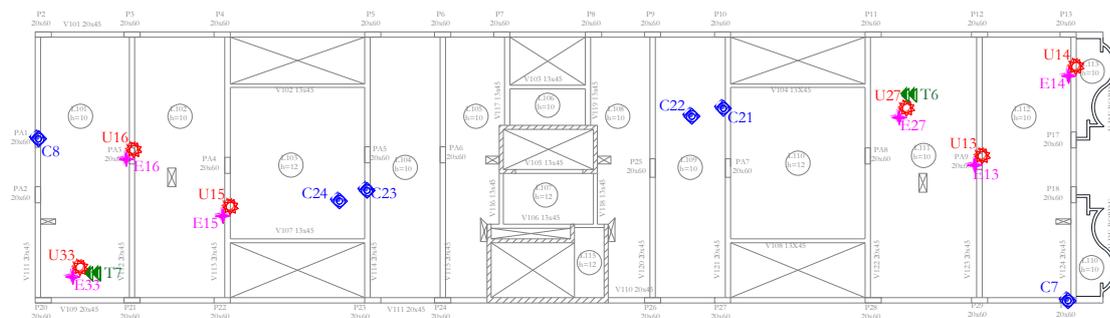


Figura 7.13. Ensayos en techo de segundo piso

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

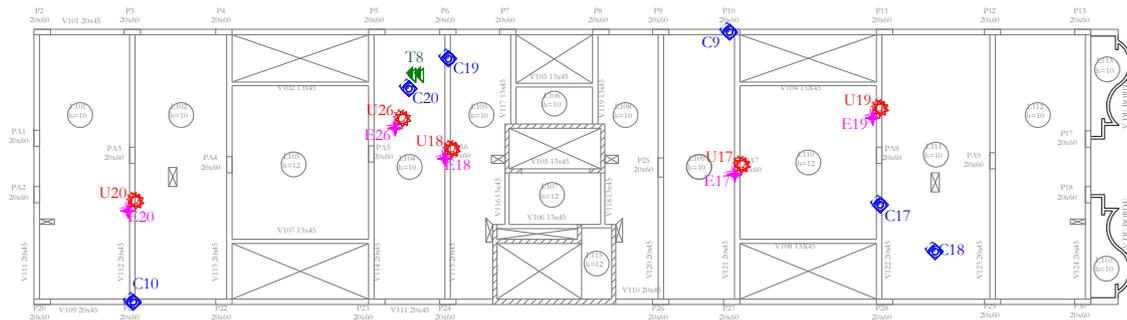


Figura 7.14. Ensayos en techo de tercer piso

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

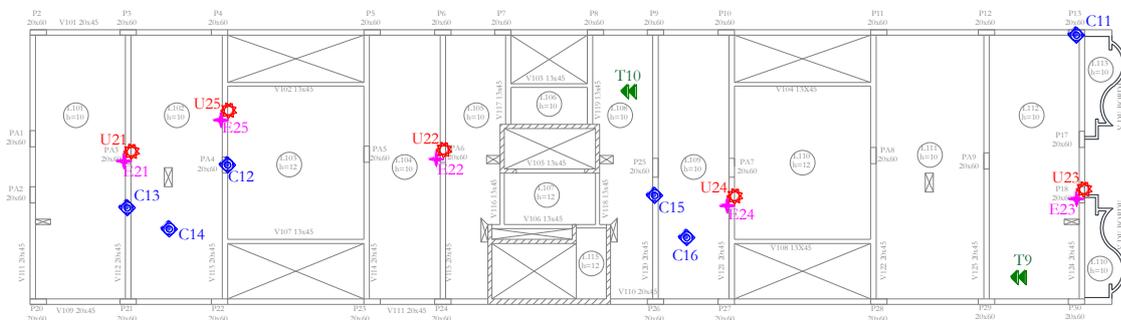


Figura 7.15. Ensayos en cuarto piso

Fuente. Equipo departamento técnico GyA.

Tabla 7.9 Cuadro de referencias de ensayos realizados.

Fuente. Elaboración propia.

REFERENCIAS		
E	ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA	
U	ENSAYO DE ULTRASONIDO	
C	ENSAYO DE CARBONATACIÓN	
T	EXTRACCIÓN DE TESTIGOS	

Cantidades de ensayos realizados

Se presenta a continuación el detalle del número de ensayos realizados por nivel

Tabla 7.10 Número de ensayos realizados en la estructura

Fuente. Elaboración propia.

Cantidad de ensayos realizados						
Ensayo	Subsuelo	Planta baja	Primer piso	Segundo piso	Tercer piso	Cuarto piso
Carbonatación	5	4	6	6	6	6
Esclerometría vigas	1	2	2	2	2	2
Esclerometría pilares	6	1	2	2	2	3
Esclerometría losas		2	1	2	1	
Ultrasonido vigas	1	2	2	2	2	2
Ultrasonido pilares	6	1	2	2	2	3
Ultrasonido losas		2	1	2	1	
Testigos	2	2	1	2	1	2

Se resume por nivel la cantidad de ensayos realizados:

Tabla 7.11 Resumen de número de ensayos realizados

Fuente. Elaboración propia.

Resumen ensayos por nivel						
Ensayo	Subsuelo	Planta baja	Primer piso	Segundo piso	Tercer piso	Cuarto piso
Carbonatación	5	4	6	6	6	6
Esclerometría	7	5	5	6	5	5
Ultrasonido	7	5	5	6	5	5
Testigos	2	2	1	2	1	2

Análisis de número de ensayos

El diámetro de los testigos extraídos en campo fue inferior a 75 mm según las mediciones en el laboratorio.

La norma UNE recomienda un número mínimo de ensayos y testigos en base a un número de regiones. Las regiones deben ser de un volumen no superior a 30 m³. Las plantas de la estructura cuentan con un volumen aproximado de 46 m³, por lo que se presentan 2 regiones de ensayo y los valores del número mínimo de ensayos para cada región se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7.12 Cantidad mínima de ubicaciones de ensayo por región.

Fuente. Elaboración propia.

Regiones de ensayo requeridas, (volumen 30 m ³)				
Número de regiones	Mínimo número de ubicaciones de ensayo			
	Extracción de testigos			Ensayos indirectos
	∅ ≥75 mm	∅ 50 mm	∅ 69 mm	
1	3	9	4	9
2 a 4	2	6	3	12
5 a 6	2	6	3	20

La norma sugiere realizar la interpolación entre números de ensayos para los diámetros de 75 mm y 50 mm cuando el diámetro del testigo se encuentra comprendido en este rango. Se indican las cantidades obtenidas tras esta interpolación.

Estimación de la resistencia del hormigón:

➤ Paso 1: Correlación de valores de ensayos

Se realizó la correlación de valores obtenidos de los ensayos no destructivos (esclerometría y velocidad de pulso ultrasónico) con los valores de la resistencia de testigos extraídos. La fórmula utilizada fue la siguiente (**Gavilán Martínez, 2011.**):

$$f_c = 0,845IE + 0,001V^4 + 1,219$$

En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos de los ensayos no destructivos y de la extracción de testigos, con los resultados de la fórmula de correlación aplicada para cada caso

Tabla 7.13 Resultados de ensayos realizados y aplicación de la fórmula de correlación.

Fuente. Elaboración propia.

Ubicación	Elemento	Identificación	I.E	Vp (m/s)	fc (MPa)	fc (MPa)- fórmula correlación
Sub Suelo	Pilar P25	E1	23	2475	-	20.67
	Tabique Ascensor	E2	23	3155	18.11	21.09
	Pilar P14	E3	20	2505	-	18.57
	Viga V115	E4	21	3059	-	19.20
	Pilar PA1	E5	21	3428	-	18.88
	Pilar P22	E31	25	3800	-	22.58
	Tabique Ascensor	E32	22	3391	18.11	19.75
	Pilar PA3	T-1	-	-	15.01	-
Planta Baja	Pilar P25	E6	21	2286	-	18.85
	Viga V125	E7	22	2581	-	20.09
	Viga V121	E8	21	2786	-	18.81
	Losa L103	E29	23	3061	27.75	20.65
	Losa L110	E30	26	3538	23.21	23.47
1er Piso	Pilar PA7	E9	22	2717	-	19.82
	Pilar PA5	E10	22	2925	-	19.83
	Viga V120	E11	17	2860	-	15.99
	Viga V114	E12	20	2925	-	18.60
	Losa L112	E28	23	3503	20.71	21.07
2do Piso	Pilar PA9	E13	21	2990	-	19.26
	Viga V124	E14	21	3191	-	18.92
	Viga V113	E15	20	3151	-	18.56
	Pilar PA3	E16	20	2518	-	17.92
	Losa L111	E27	24	3421	22.59	21.85
	Losa L101	E33	21	3060	18.90	19.34
3er Piso	Pilar PA7	E17	17	2466	-	15.38
	Pilar PA6	E18	20	2476	-	18.57
	Viga V122	E19	20	2864	-	18.02
	Viga V112	E20	19	2459	-	16.97
	Losa L104	E26	23	3236	21.72	20.88
4to Piso	Pilar PA3	E21	20	2644	-	18.22
	Pilar PA6	E22	20	2554	-	17.99
	Pilar P18	E23	17	2835	-	15.62
	Viga V121	E24	19	2538	-	17.27
	Viga V113	E25	20	2652	-	17.85
	Losa L112	T-9	-	-	29.12	-
	Losa L108	T-10	-	-	15.66	-

➤ Estimación de la resistencia a compresión para le evaluación de estructuras existentes

En base al capítulo 8 de la UNE 13791, el procedimiento para la estimación de la resistencia característica se toma el menor valor entre:

$$f_{ck,is} = f_{c,m(m)is} - k_n s$$

Ó

$$f_{ck,is} = f_{c,is,lowest} + M$$

Siendo:

$$f_{c,m(m)is} = \sum (f_{c,is,reg})/m$$

$$s = \sqrt{s_c^2 + s_e^2}$$

Y:

$$s_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (f_{c,is,reg} - f_{c,m(m)is})^2}{m - 1}}$$

$$s_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{c,is} - f_{c,is,reg})^2}{n - 1}}$$

$$n_{eff} = \frac{(s_c^2 + s_e^2)^2}{\frac{s_c^4}{n - 2} + \frac{s_e^4}{m - 1}}$$

Donde:

S: estimación de la desviación estándar de la resistencia a compresión in situ

Sc: desviación estándar residual, medida de la dispersión de datos de resistencia en testigos (se toma el valor calculado o 2.0 MPa, el que sea mayor)

Se: desviación estándar considerando todos los valores de resistencia estimados

Fck, is :es la resistencia característica a compresión in situ.

Fc,m(m)is: Resistencia media a compresión in situ para el conjunto "m" de ubicaciones de ensayos

Fc,is,lowest: menor valor para el conjunto de valores obtenidos de fci

Fc,is : resistencia a compresión de un testigo para una ubicación de ensayo

Fc,is,reg: valor de ensayo indirecto convertido a la resistencia a compresión luego de la correlación.

Kn se toma de la tabla 3.13

n: número de pares de resultados de ensayos utilizados en la correlación (se toma para la tabla 6.13 neff +1)

m: número de valores de resistencia estimados

M: se toma de la tabla 3.14

Tabla 7.14 Valores de la resistencia estimada del hormigón.

Fuente. Elaboración propia.

Ubicación	Elemento	Ensayo	I.E	Vp (m/s)	fc (MPa)	fc (MPa)- fórmula correlación	fc, is, reg MPa	fc, is MPa	fc, m(m)is MPa	S MPa	fck, is(kn) MPa	fck, is(M) MPa
Sub Suelo	Pilar P25	E1	23	2475	-	20.67	20.67	20.70	19.98	2.23	15.52	21.57
	Tabique											
	Ascensor	E2	23	3155	20.70	21.09						
	Pilar P14	E3	20	2505	-	18.57	18.57					
	Viga V115	E4	21	3059	-	19.20	19.20					
	Pilar PA1	E5	21	3428	-	18.88	18.88					
	Pilar P22	E31	25	3800	-	22.58	22.58					
Tabique												
Ascensor	E32	22	3391	20.70	19.75							
Planta Baja	Pilar P25	E6	21	2286	-	18.85	18.85	18.20	19.25	1.57	16.11	19.81
	Viga V125	E7	22	2581	-	20.09	20.09					
	Viga V121	E8	21	2786	-	18.81	18.81					
	Losa L103	E29	23	3061	27.75	20.65						
	Losa L110	E30	26	3538	18.20	23.47						
1er Piso	Pilar PA7	E9	22	2717	-	19.82	19.82	19.10	18.56	2.47	13.62	18.99
	Pilar PA5	E10	22	2925	-	19.83	19.83					
	Viga V120	E11	17	2860	-	15.99	15.99					
	Viga V114	E12	20	2925	-	18.60	18.60					
	Losa L112	E28	23	3503	19.10	21.07						
2do Piso	Pilar PA9	E13	21	2990	-	19.26	19.26	18.90	18.66	0.78	17.11	20.92
	Viga V124	E14	21	3191	-	18.92	18.92					
	Viga V113	E15	20	3151	-	18.56	18.56					
	Pilar PA3	E16	20	2518	-	17.92	17.92					
	Losa L111	E27	24	3421	22.59	21.85						
	Losa L101	E33	21	3060	18.90	19.34						
3er Piso	Pilar PA7	E17	17	2466	-	15.38	15.38	17.50	17.23	1.88	13.47	16.38
	Pilar PA6	E18	20	2476	-	18.57	18.57					
	Viga V122	E19	20	2864	-	18.02	18.02					
	Viga V112	E20	19	2459	-	16.97	16.97					
	Losa L104	E26	23	3236	17.50	20.88						
4to Piso	Pilar PA3	E21	20	2644	-	18.22	18.22	17.80	17.39	1.43	14.53	17.62
	Pilar PA6	E22	20	2554	-	17.99	17.99					
	Pilar P18	E23	17	2835	-	15.62	15.62					
	Viga V121	E24	19	2538	-	17.27	17.27					
	Viga V113	E25	20	2652	-	17.85	17.85					
	Losa L112	T-9	-	-	29.12	-						
	Losa L108	T-10	-	-	17.80	-						

7.3.4 Verificación estructural

Para el cálculo estructural fueron consideradas las cargas que soporta la estructura.

- En este caso el edificio destinado a departamentos residenciales fue considerado con una sobrecarga de uso de 200 kg/m^2
- Además del peso propio de la estructura cuyo valor fue considerado $2,5 \text{ T/m}^3$
- Los coeficientes de minoración utilizados fueron 1,5 para el hormigón y 1,15 para el acero.
- Las cargas permanentes y sobrecargas de uso fueron mayoradas con un coeficiente de 1,5
- El software de cálculo para la estructura fue CYPECAD 2020
- La norma aplicada en la verificación fue la norma brasilera NB1
- Resistencia del acero f_{yk} : 4200 kg/cm^2 . (no se han tomado muestras de barras de acero para definir su f_{yk} , por tanto, se adopta el valor de 4200 kg/cm^2 dado que la utilización y disponibilidad del acero con $f_{yk} 5000 \text{ kg/cm}^2$ en Paraguay fue luego del año 2010 aproximadamente)

Las normas utilizadas para el cálculo varían dependiendo de las exigencias del proyecto. En ciertos casos donde no existen datos en cuanto a normativas aplicadas se selecciona aquella que en países vecinos son utilizadas.

Sin embargo, para proyectos de mayor exigencia por la envergadura de la misma o valores superiores en cuanto a la sobrecarga de uso, son utilizadas otras normativas en el cálculo.

Se comprueban que las cuantías de acero obtenidas del cálculo cumplan con las exigencias mínimas del proyecto y estén acorde a lo encontrado en obra mediante el ensayo de pachometría.

7.3.5 Análisis de las condiciones de seguridad

Aptitud de servicio

Mediante el software de cálculo pueden verificarse que los elementos de la estructura soporten adecuadamente las cargas a las que se encuentran sometidas.

Si para alguna de las comprobaciones del estado límite último el elemento no cumple con las exigencias mínimas podría ser necesario el refuerzo del mismo

➤ Cuantías de armaduras

En el análisis de la aptitud de servicio se consideran también las cuantías de armaduras obtenidas en el cálculo comparadas con las encontradas en obra, los resultados obtenidos se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 7.15 Resultados de ensayos de pachometría en pilares

Fuente. Elaboración propia.

UBICACION	IDENTIFICACION	ELEMENTO	Sección	Verificado en obra		Sección de acero necesaria según Calculo		% Cubierto A_s existente/ A_s Calculo			
				As existente		As necesaria		Armadura Principal		Estribos	
				Armadura Principal	Estribos	Armadura Principal	Armadura Principal	Armadura Principal	Estado	Estribos	Estado
Techo de Subsuelo	Pach 5	P27	40x70	12f25+4f20	f8c/10	12f16+4f20	f6c/18	194.8	Verifica	320.0	Verifica
	Pach 6	P6	20x60	10f25+2f20	f8c/10	12f20	f6c/18	156.3	Verifica	320.0	Verifica
	Pach 7	P22	20x60	12f25+2f20	f8c/10	12f25	f8c/20	110.7	Verifica	200.0	Verifica
	Pach 8	P4	40x70	12f25+4f20	f8c/10	18f20+4f16	f6c/18	110.7	Verifica	320.0	Verifica
	Pach 9	P11	40x70	12f25+4f20	f8c/10	22f20+2f16	f6c/18	97.7	Verifica	320.0	Verifica
	Pach 10	P25	40x70	14f25	f8c/10	10f16	f6c/17	341.8	Verifica	302.2	Verifica
Techo de Planta Baja	Pach 7	P13	30x60	10f20	f8c/10	8f12	f6c/17	347.2	Verifica	302.2	Verifica
	Pach 8	P29	40x70	16f20	f8c/10	4f20+6f16	f6c/18	204.1	Verifica	320.0	Verifica
	Pach 9	P25	40x70	14f20	f8c/10	4f20	f6c/17	350.0	Verifica	302.2	Verifica
Techo de 1er Piso	Pach 13	P25	35x70	14f20	f8c/20	8f16	f6c/21	273.4	Verifica	186.7	Verifica
	Pach 14	P17	30x60	12f25	f6c/20	4f20	f6c/17	468.8	Verifica	85.0	Verifica
	Pach 15	P20	20x60	10f20	f6c/20	8f10	f6c/17	500.0	Verifica	85.0	Verifica
Techo de 2do Piso	Pach 13	P18	30x60	10f25	f6c/20	4f20	f6c/17	390.6	Verifica	85.0	Verifica
	Pach 14	PA7	30x60	16f25	f8c/10	6f16	f6c/18	651.0	Verifica	320.0	Verifica
Techo de 3er Piso	Pach 13	PA6	20x60	12f25	f8c/20	8f10	f6c/17	937.5	Verifica	151.1	Verifica
	Pach 14	PA8	20x60	14f25	f8c/20	8f10	f6c/17	1093.8	Verifica	151.1	Verifica

Tabla 7.16 Resultados de ensayos de pachometría en vigas

Fuente. Elaboración propia.

UBICACION	IDENTIFICACION	ELEMENTO	Sección	Verificado en obra		Sección de acero necesaria según cálculo		% Cubierto A_s existente/ A_s cálculo			
				As existente		As necesaria		Armadura Principal		Estribos	
				Armadura Principal	Estribos	Armadura Principal	Estribos	Armadura Principal	Armadura Principal	Armadura Principal	Estado
Techo de Subsuelo	Pach 1	V111	15x30	2f16+5f20	f8c/8	2f8+1f10	f6c/17	1102%	Verifica	378%	Verifica
Techo de Planta Baja	Pach 5	V112	50x163	13f25	2f8c/10	11f20	2f6c/16	185%	Verifica	284%	Verifica
	Pach 6	V105	14x50	2f10+1f20	f8c/30	2f12+1f8	f6c/28	170%	Verifica	83%	No Verifica
Techo de 1er Piso	Pach 11	V121	30x45	4f16+2f25	f8c/8	4f12	f8c/22	395%	Verifica	275%	Verifica
	Pach 12	V113	30x45	4f16+2f25	f8c/8	6f10	f8c/22	379%	Verifica	275%	Verifica
Techo de 2do Piso	Pach 11	V124	20x45	3f12+2f10	f6c/26.5	3f8	f6c/20	329%	Verifica	75%	No Verifica
	Pach 12	V114	30x45	4f16+2f25	f8c/9	3f16+2f8	f8c/22	254%	Verifica	244%	Verifica
Techo de 3er Piso	Pach 11	V120	20x45	3f10+2f12	f6c/10	3f12	f6c/20	136%	Verifica	113%	Verifica
	Pach 12	V115	20x45	3f10+2f12	f6c/10	3f12+1f8	f8c/20	119%	Verifica	113%	Verifica
Techo de 4to Piso	Pach 11	V122	30x45	4f16+2f25	f8c/8	4f12	f8c/22	395%	Verifica	275%	Verifica
	Pach 12	V112	20x45	2f16+2f20	f6c/8	2f12+1f10	f8c/19	338%	Verifica	134%	Verifica

Tabla 7.17 Resultados de ensayos de pachometría en losas

Fuente. Elaboración propia.

UBICACION	IDENTIFICACION	ELEMENTO	Verificado en obra		Necesario según cálculo		% Cubierto A _s existente/A _s necesaria			
			As existente		As necesaria		Armadura Dirección "x"		Armadura Dirección "y"	
			Armadura Dirección "x"	Armadura Dirección "y"	Armadura Dirección "x"	Armadura Dirección "y"	%	Estado	%	Estado
Techo de Subsuelo	Pach 2	L111	f 6 c/18	f 6 c/20	f6c/15	f8c/20	83%	No Verifica	56%	No Verifica
	Pach 3	L112	f 6 c/18	f 6 c/20	f6c/15	f8c/20	83%	No Verifica	56%	No Verifica
	Pach 4	L114	f 6 c/18	f 6c/20	f6c/15	f6c/15	83%	No Verifica	75%	No Verifica
Techo de Planta Baja	Pach 1	L101	f 6 c/15	f 6 c/20	f6c/15	f6c/15	100%	Verifica	75%	No Verifica
	Pach 2	L109	f 6 c/15	f 6 c/21	f6c/15	f6c/15	100%	Verifica	71%	No Verifica
	Pach 3	L111	f6 c/15	f 8 c/20	f6c/15	f6c/15	100%	Verifica	133%	Verifica
	Pach 4	L112	f 6 c/15	f 6 c/21	f6c/15	f6c/15	100%	Verifica	71%	No Verifica
Techo de 1er Nivel	Pach 1	L112	f 6 c/16	f 6 c/20	f6c/18	f6c/18	113%	Verifica	90%	Verifica
	Pach 2	L111	f 6 c/18	f 6 c/24	f6c/15	f6c/18	83%	No Verifica	75%	No Verifica
	Pach 3	L110	f 8 c/15	f 8 c/15	f8c/24	f6c/15	160%	Verifica	178%	Verifica
	Pach 4	L109	f 6 c/19	f 6 c/20	f6c/18	f6c/18	95%	Verifica	90%	Verifica
	Pach 5	L108	f 6 c/17	f 6 c/20	f8c/20	f8c/20	66%	No Verifica	56%	No Verifica
	Pach 6	L105	f 8 c/18	f 8 c/21	f6c/16	f8c/22	158%	Verifica	105%	Verifica
	Pach 7	L104	f 8 c/22	f 8 c/22	f6c/18	f6c/18	145%	Verifica	145%	Verifica
	Pach 8	L103	f 8 c/15	f 8 c/15	f8c/25	f6c/15	167%	Verifica	178%	Verifica
	Pach 9	L102	f 8 c/24	f 8 c/19	f6c/18	f6c/18	133%	Verifica	168%	Verifica
	Pach 10	L101	f 8 c/20	f 8 c/20	f6c/15	f6c/18	75%	No Verifica	160%	Verifica
Techo de 2do Nivel	Pach 1	L112	f 8 c/18	f 8 c/20	f6c/18	f6c/18	178%	Verifica	160%	Verifica
	Pach 2	L111	f 8 c/17	f 8 c/20	f6c/15	f6c/18	157%	Verifica	160%	Verifica
	Pach 3	L110	f 8 c/14	f 8 c/15	f8c/22	f6c/15	157%	Verifica	178%	Verifica
	Pach 4	L109	f 6 c/18	f 6 c/20	f6c/18	f6c/18	100%	Verifica	90%	Verifica
	Pach 5	L108	f 6 c/18	f 6 c/15	f8c/20	f6c/15	63%	No Verifica	100%	Verifica
	Pach 6	L105	f 6 c/15	f 6 c/20	f8c/22	f8c/24	83%	No Verifica	68%	No Verifica
	Pach 7	L104	f 6 c/18	f 6 c/20	f6c/18	f6c/18	100%	Verifica	90%	Verifica
	Pach 8	L103	f 6 c/10	f 6 c/10	f8c/20	f8c/24	113%	Verifica	135%	Verifica
	Pach 9	L102	f 6 c/22	f 6 c/22	f6c/18	f6c/18	145%	Verifica	82%	No Verifica
	Pach 10	L101	f 6 c/17	f 6 c/20	f8c/22	f6c/18	73%	No Verifica	90%	Verifica

Tabla 7.18 Resultados de ensayos de pachometría en losas (continuación)

Fuente. Elaboración propia.

UBICACION	IDENTIFICACION	ELEMENTO	Verificado en obra		Necesario según cálculo		% Cubierto A _s existente/A _s necesaria			
			As existente		As necesaria		Armadura Dirección "x"		Armadura Dirección "y"	
			Armadura Dirección "x"	Armadura Dirección "y"	Armadura Dirección "x"	Armadura Dirección "y"	%	Estado	%	Estado
Techo de 3er Nivel	Pach 1	L112	f 6 c/17	f 6 c/18	f6c/18	f6c/18	106%	Verifica	100%	Verifica
	Pach 2	L111	f 6 c/17	f 6 c/15	f6c/15	f6c/18	88%	Verifica	120%	Verifica
	Pach 3	L110	f 8 c/15	f 8 c/15	f8c/22	f6c/15	147%	Verifica	178%	Verifica
	Pach 4	L109	f 6 c/20	f 6 c/20	f6c/18	f6c/18	90%	Verifica	90%	Verifica
	Pach 5	L108	f 6 c/18	f 6 c/23	f8c/16	f8c/22	50%	No Verifica	54%	No Verifica
	Pach 6	L105	f 6 c/15	f 6 c/21	f6c/18	f8c/22	120%	Verifica	59%	No Verifica
	Pach 7	L104	f 6 c/17	f 6 c/20	f6c/18	f6c/18	106%	Verifica	90%	Verifica
	Pach 8	L103	f 6 c/10	f 6 c/10	f8c/24	f6c/15	135%	Verifica	150%	Verifica
	Pach 9	L102	f 6 c/15	f 6 c/20	f6c/18	f6c/18	120%	Verifica	90%	Verifica
	Pach 10	L101	f 6 c/15	f 6 c/20	f6c/15	f6c/18	100%	Verifica	90%	Verifica
Techo de 4to Nivel	Pach 1	L112	f 6 c/20	f 6 c/18	f6c/18	f6c/18	90%	Verifica	100%	Verifica
	Pach 2	L111	f 6 c/17	f 6 c/20	f6c/15	f6c/18	88%	Verifica	56%	No Verifica
	Pach 3	L110	f 8 c/15	f 8 c/15	f6c/15	f6c/15	178%	Verifica	178%	Verifica
	Pach 4	L109	f 6 c/19	f 6 c/20	f6c/18	f6c/18	95%	Verifica	90%	Verifica
	Pach 5	L108	f 6 c/17	f 6 c/20	f8c/16	f8c/25	53%	No Verifica	70%	No Verifica
	Pach 6	L105	f 6 c/16	f 6 c/20	f6c/18	f8c/24	113%	Verifica	68%	No Verifica
	Pach 7	L104	f 6 c/19	f 6 c/22	f6c/18	f6c/18	95%	Verifica	82%	No Verifica
	Pach 8	L103	f 6 c/10	f 6 c/10	f8c/24	f6c/15	135%	Verifica	150%	Verifica
	Pach 9	L102	f 6 c/15	f 6 c/15	f6c/18	f6c/18	120%	Verifica	120%	Verifica
	Pach 10	L101	f 6 c/15	f 6 c/20	f6c/15	f6c/18	100%	Verifica	90%	Verifica

Daños encontrados en la estructura:

Las fisuras verticales e inclinadas en las vigas de la estructura pueden ser indicios de que la capacidad de soporte se ve afectada ante las cargas que actúan. Para el edificio fueron registradas las profundidades y espesores de alguna de estas fisuras observadas en las vigas de la estructura, se presenta el resumen de esta verificación en el cuadro siguiente:

Tabla 7.19 Valores de profundidad y espesor de fisuras verificadas.

Fuente. Elaboración propia.

Elemento	Nivel	Identificación	Abertura (mm)	Profundidad (mm)			Dimensión de viga (mm)	% Seccionado del elemento
V-112	Planta Baja	fv1	0.35	175	133	141	500	60%
V-123		fi2	0.3	174	153	145	600	52%
		fv3	0.2	115	128	122	600	41%
V-115		fi4	0.8	124	162	174	600	51%
V-114		fi5	0.6	98	138	120	600	40%
V-124	1er Piso	fi8	0.8	107	107	107	200	100%
		fv9	1	166	148	86	200	100%
V-124	2do Piso	fv8	0.7	115	117	62	200	98%
		fv9	0.75	73	120	125	200	100%
V-123	3er Piso	fi10	0.8	55	111	76	200	81%
V-122		fv11	0.6	110	-	-	300	73%
V-112		fv12	0.7	147	97	100	200	100%
V-124	4to Piso	fv13	1.5	151	143	161	200	100%
V-123		fv14	0.8	101	130	44	200	92%
V-122		fv15	1.3	136	130	161	300	95%
V-115		fv16	1.3	153	91	172	200	100%
V-114		fv17	1.2	147	122	145	300	92%
V-112		fv18	1	138	138	218	200	100%

Tabla 7.20 Ficha 08. Clasificación de daños encontrados.

Fuente. Elaboración propia.

Tipo de daño	Elemento	Descripción	Marcar con una X si se observan	Referencia (Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado. Tomo II)	Referencia (Manual de patología de la edificación)
Daños de origen estructural	Pilares	Fisuras por tracción pura en tirantes y muros		A.6	
		Fisuras por tracción en pilares			L. 8.5
		Fisuras por flexión y torsión			
		Fisuras por compresión centrada en pilares		A.7	L. 8.1
		Fisuras de flexión compuesta en pilares		A.9	L. 8.4
		Fisuras por flexión por pandeo en pilares			L. 8.6
		Fisuras de esfuerzo cortante en pilares			L. 8.3
	Vigas	Fisuras de esfuerzo cortante en vigas	x	A.10	L. 9.4
		Fisuras por flexión y cortante en vigas	x		L. 9.11
		Fisuras por flexión y torsión en vigas			L. 9.12
		Fisuras de flexión simple en vigas	x	A.8	L. 9.1
		Fisuras por compresión en cara inferior de vigas			L. 9.6
		Fisuras por cortante por flexión lateral en vigas			L. 9.5
		Fisuras de esfuerzo rasante en vigas		A.12	L. 9.3
	Losas	Fisuras por torsión en vigas		A.1.1 al A.13	L. 9.8 a L.9.10
		Fisuras por compresión en losas	x		L. 16.3
Fisuras por flexión en zona superior de losas				L. 16.2	
Fisuras por flexión en zona inferior de losas		x		L. 16.1	
		Fisuras de punzonamiento en losas		A.11	L. 16.4
Daños de origen no estructural	Pilares, losas, vigas	Fisuras por asiento plástico		A.1.1 al A.1.7	
		Fisuras por movimiento del encofrado		A.1.8	
		Fisuras por retracción plástica		A.2	L.9.16
		Fisuras por contracción térmica inicial		A.3	L.9.17
		Fisuras por retracción hidráulica		A.4	L. 8.10 y L.9.16
		Fisuras en mapa		A.5	
		Fisuras por corrosión	x	A.18	L. 8.7, L.8.8, L.9.18 a L.9.22,L.16.6

➤ Resumen de resultados obtenidos:

Tabla 7.21 Resumen de resultados de pachometría

Fuente. Elaboración propia.

Pachometría	
Elemento	% verifica
Losas	60%
Vigas	82%
Pilares	100%

Tabla 7.22 Resumen de resultados de resistencia estimada.

Fuente. Elaboración propia.

Resistencia estimada fest		
Nivel	fest (MPa)	fck - proyecto (MPa)
Subsuelo	16	18
Planta baja	15	
Primer nivel	14	
Segundo nivel	15	
Tercer nivel	13	
Cuarto nivel	13	

Tabla 7.23 Resumen de verificaciones de fisuras realizadas.

Fuente. Elaboración propia.

Nivel	Elemento	Identificación	Abertura (mm)	% Seccionado	Espesor razonable	Profundidad de fisuras	
Planta Baja	V-112	fv1	0.35	60%	SI	Profundas	
		fi2	0.3	52%	SI	Profundas	
	V-123	fv3	0.2	41%	SI	Profundas	
		V-115	fi4	0.8	51%	NO	Profundas
		V-114	fi5	0.6	40%	NO	Profundas
1er Piso	V-124	fi6	0.8	100%	NO	Pasantes	
		fv7	0.6	100%	NO	Pasantes	
2do Piso	V-124	fv8	0.7	98%	NO	Pasantes	
		fv9	0.75	100%	NO	Pasantes	
3er Piso	V-123	fi10	0.8	81%	NO	Pasantes	
	V-122	fv11	0.6	73%	NO	Profundas	
	V-112	fv12	0.7	100%	NO	Pasantes	
4to Piso	V-124	fv13	1.5	100%	NO	Pasantes	
	V-123	fv14	0.8	92%	NO	Pasantes	
	V-122	fv15	1.3	95%	NO	Pasantes	
	V-115	fv16	1.3	100%	NO	Pasantes	
	V-114	fv17	1.2	92%	NO	Pasantes	
	V-112	fv18	1	100%	NO	Pasantes	

Se presenta un 67% de fisuras pasantes y un 83% de fisuras verificadas que superan los espesores razonables según el criterio considerado.

Capacidad portante:

Mediante métodos semiprobabilistas, puede evaluarse la seguridad estructural comparando la capacidad resistente nominal de un elemento con la capacidad resistente real definida mediante ensayos en la estructura existente.

Son estudiados los pilares por tratarse de elementos verticales que sostienen a los demás elementos de la estructura y soportan cargas en mayor magnitud.

La fórmula utilizada para la estimación de la pérdida de la capacidad resistente es la siguiente:

$$VR(\%) = \frac{N_u - N_u}{N_u} \cdot 100$$

- N_u es la capacidad resistente nominal y se expresa de la siguiente manera:

$$N_u = 0.85 \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times A_c + A_s \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

Donde

f_{ck} es la resistencia característica nominal del hormigón

γ_c Coeficiente de minoración de la resistencia del hormigón

A_c Área transversal del elemento de hormigón

A_s Área total de armadura

f_{yk} Resistencia del acero

γ_s Coeficiente de minoración de la resistencia del acero

N'_u es la capacidad resistente obtenida mediante ensayos de información y se expresa de la siguiente manera:

$$N'_u = 0.85 \times \frac{f'_{cest}}{\gamma_c} \times A_c + A_s \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

Donde:

f'_{cest} Resistencia estimada del hormigón obtenida a partir de ensayos

En el siguiente cuadro se resumen los valores de cada parámetro definido anteriormente para la estimación de la variación de la capacidad resistente en pilares:

Tabla 7.24 Cálculo de la variación de la capacidad resistente de la estructura en pilares.

Fuente. Elaboración propia.

UBICACION	ELEMENTO	Sección	Ac (cm ²)	As (cm ²)	Yc	Ys	Fck (kg/cm ²)	Fcest (kg/cm ²)	Fy (kg/cm ²)	N u (kg)	N' u (kg)	VR(%)
Techo de Subsuelo	P27	40x70	2800	71.47	1.5	1.15	180	155	4200	546,625.98	506,959.32	-7.26
	P6	20x60	1200	58.91	1.5	1.15	180	155	4200	337,531.30	320,531.30	-5.04
	P22	20x60	1200	65.19	1.5	1.15	180	155	4200	360,478.64	343,478.64	-4.72
	P4	40x70	2800	71.47	1.5	1.15	180	155	4200	546,625.98	506,959.32	-7.26
	P11	40x70	2800	71.47	1.5	1.15	180	155	4200	546,625.98	506,959.32	-7.26
	P25	40x70	2800	68.72	1.5	1.15	180	155	4200	536,586.52	496,919.86	-7.39
Techo de Planta Baja	P13	30x60	1800	31.42	1.5	1.15	180	153	4200	298,336.70	270,796.70	-9.23
	P29	40x70	2800	50.27	1.5	1.15	180	153	4200	469,178.71	426,338.71	-9.13
	P25	40x70	2800	43.98	1.5	1.15	180	153	4200	446,231.37	403,391.37	-9.60
Techo de 1er Piso	P25	35x70	2450	43.98	1.5	1.15	180	136	4200	410,531.37	349,444.71	-14.88
	P17	30x60	1800	58.91	1.5	1.15	180	136	4200	398,731.30	353,851.30	-11.26
	P20	20x60	1200	31.42	1.5	1.15	180	136	4200	237,136.70	207,216.70	-12.62
Techo de 2do Piso	P18	30x60	1800	49.09	1.5	1.15	180	147	4200	362,876.09	329,216.09	-9.28
	PA7	30x60	1800	78.54	1.5	1.15	180	147	4200	470,441.74	436,781.74	-7.15
Techo de 3er Piso	PA6	20x60	1200	58.91	1.5	1.15	180	132	4200	337,531.30	304,891.30	-9.67
	PA8	20x60	1200	68.72	1.5	1.15	180	132	4200	373,386.52	340,746.52	-8.74

Los valores de VR negativos indican una pérdida de la capacidad resistente para la resistencia estimada obtenida en el cálculo hasta un 15% respecto a la capacidad inicial del proyecto.

PARA VIGAS

La fórmula utilizada para la estimación de la pérdida de la capacidad resistente es la siguiente:

$$VR(\%) = \frac{V'_u - V_u}{V_u} \times 100$$

- V_u es la capacidad resistente nominal y se expresa de la siguiente manera:

$$V_u = V_{cu} + V_{su}$$

Siendo:

$$V_{su} = \frac{0.9 \times d}{s} \times A \times f_{yd}$$

$$V_{cu} = f_{cv} \times b \times d$$

$$f_{cv} = 0.10 \times \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) \times \left(\frac{100 \times A_{st}}{b \times d} \times f_{ck} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

d: canto útil de la viga

s: separación entre estribos

A: área de la armadura de estribos

Ast: área de la armadura principal traccionada de la viga

B: base de la viga

Fyd: Resistencia de cálculo del acero

Fck: resistencia característica el hormigón

V_u es la capacidad resistente obtenida mediante ensayos de información y se expresa de la siguiente manera:

$$V'_u = V'_{cu} + V_{su}$$

Siendo:

$$V'_{cu} = f'_{cv} \times b \times d$$

$$f'_{cv} = 0.10 \times \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) \times \left(\frac{100 \times A_{st}}{b \times d} \times f_{cest} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

f_{cest}: Resistencia estimada del hormigón obtenida a partir de ensayos

En el siguiente cuadro se resumen los valores de cada parámetro definido anteriormente para la estimación de la variación de la capacidad resistente en vigas:

Tabla 7.25 Cálculo de la variación de la capacidad resistente de la estructura en vigas.

Fuente. Elaboración propia.

UBICACIÓN	ELEMENTO	Sección	A (cm ²)	Ast (cm ²)	s (cm)	Fck (kg/cm ²)	Fcest (kg/cm ²)	Fy (kg/cm ²)	f _{cv} (kg/cm ²)	V _u (kg)	f' _{cv} (kg/cm ²)	V' _u (kg)	VR(%)
Techo de Subsuelo	V111	15x30	0.50	19.7	8	180	155	4200	7.04	12354.47	6.70	12169.50	-1.85
Techo de Planta Baja	V112	50x163	1.01	63.8	10	180	153	4200	3.30	86651.67	3.13	85268.50	-13.83
	V105	14x50	0.50	4.7	30	180	153	4200	3.92	5437.12	3.71	5304.04	-1.33
Techo de 1er Piso	V121	30x45	0.50	17.9	8	180	136	4200	5.04	15937.38	4.59	15384.36	-5.53
	V113	30x45	0.50	17.9	8	180	136	4200	5.04	15937.38	4.59	15384.36	-5.53
Techo de 2do Piso	V124	20x45	0.28	5.0	27	180	147	4200	3.77	4741.14	3.52	4539.59	-2.02
	V114	30x45	0.50	17.9	9	180	147	4200	5.04	14855.41	4.71	14450.70	-4.05
Techo de 3er Piso	V120	20x45	0.28	4.6	10	180	132	4200	3.68	7396.16	3.31	7100.10	-2.96
	V115	20x45	0.28	4.6	10	180	132	4200	3.68	7396.16	3.31	7100.10	-2.96
Techo de 4to Piso	V122	30x45	0.50	17.9	8	180	134	4200	5.04	15937.38	4.57	15356.54	-5.81
	V112	20x45	0.28	10.3	8	180	134	4200	4.80	9416.19	4.35	9047.17	-3.69

Los valores de VR negativos indican una pérdida de la capacidad resistente para la resistencia estimada obtenida en el cálculo hasta un 14% respecto a la capacidad inicial del proyecto.

PARA LOSAS

La fórmula utilizada para la estimación de la pérdida de la capacidad resistente es la siguiente:

$$VR(\%) = \frac{V'_u - V_u}{V_u} \times 100$$

- V_u es la capacidad resistente nominal y se expresa de la siguiente manera:

$$V_u = V_{cu} + V_{su}$$

Siendo

$$V_{su} = 0.9 \times d \times A \times f_{yd}$$

$$V_{cu} = \frac{0.25}{\gamma_c} \times \xi \times (100\rho_l f_{ck})^{\frac{1}{3}} \times b_0 \times d$$

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}$$

$$\rho_l = \frac{A_{st}}{b_0 \times d}$$

Donde:

$b_0=1$ m.

V'_u es la capacidad resistente obtenida mediante ensayos de información y se expresa de la siguiente manera:

$$V'_u = V'_{cu} + V_{su}$$

Siendo:

$$V'_{cu} = \frac{0.25}{\gamma_c} \times \xi \times (100\rho_l f_{cest})^{\frac{1}{3}} \times b_0 \times d$$

Donde:

f_{cest} : Resistencia estimada del hormigón obtenida a partir de ensayos

En el siguiente cuadro se resumen los valores de cada parámetro definido anteriormente para la estimación de la variación de la capacidad resistente en losas:

Tabla 7.26 Cálculo de la variación de la capacidad resistente de la estructura en losas.

Fuente. Elaboración propia.

UBICACION	ELEMENTO	A (cm ²)	Ast (cm ²)	b _o (cm)	d (cm)	Fck (kg/cm ²)	Fcest (kg/cm ²)	Fy (kg/cm ²)	f _{cv} (kg/cm ²)	V _u (kg)	f'cv (kg/cm ²)	V' u (kg)	VR(%)
Techo de Subsuelo	L111	0.28	1.57	100	8	180	155	4200	6.55	13792.43	6.23	13537.5	-2.55
	L112	0.28	1.57	100	8	180	155	4200	6.55	13792.43	6.23	13537.5	-2.55
	L114	0.28	1.57	100	8	180	155	4200	6.55	13792.43	6.23	13537.5	-2.55
Techo de Planta Baja	L101	0.28	1.88	100	8	180	153	4200	6.96	14120.90	6.60	13827.1	-2.94
	L109	0.28	1.88	100	8	180	153	4200	6.96	14120.90	6.60	13827.1	-2.94
	L111	0.28	1.88	100	16	180	153	4200	4.54	24356.73	4.30	23974.1	-3.83
	L112	0.28	1.88	100	8	180	153	4200	6.96	14120.90	6.60	13827.1	-2.94
Techo de 1er Nivel	L112	0.28	1.77	100	6	180	136	4200	8.21	11339.80	7.48	10900.3	-4.40
	L111	0.28	1.57	100	6	180	136	4200	7.90	11150.10	7.19	10727.5	-4.23
	L110	0.50	3.35	100	8	180	136	4200	8.44	21948.77	7.68	21346.8	-6.02
	L109	0.28	1.49	100	6	180	136	4200	7.75	11065.49	7.06	10650.4	-4.15
	L108	0.28	1.66	100	6	180	136	4200	8.05	11241.23	7.33	10810.5	-4.31
	L105	0.50	2.79	100	6	180	136	4200	9.57	17139.28	8.71	16627.3	-5.12
	L104	0.50	2.28	100	6	180	136	4200	8.95	16767.95	8.15	16289.1	-4.79
	L103	0.50	3.35	100	8	180	136	4200	8.44	21948.77	7.68	21346.8	-6.02
	L102	0.50	2.09	100	6	180	136	4200	8.69	16614.50	7.92	16149.4	-4.65
L101	0.50	1.41	100	6	180	136	4200	7.62	15974.22	6.94	15566.2	-4.08	
Techo de 2do Nivel	L112	0.50	2.79	100	6	180	147	4200	9.57	17139.28	8.94	16764.6	-3.75
	L111	0.50	2.96	100	6	180	147	4200	9.75	17249.67	9.11	16867.8	-3.82
	L110	0.50	3.59	100	8	180	147	4200	8.63	22105.77	8.07	21655.0	-4.51
	L109	0.28	1.57	100	6	180	147	4200	7.90	11150.10	7.38	10840.8	-3.09
	L108	0.28	1.57	100	6	180	147	4200	7.90	11150.10	7.38	10840.8	-3.09
	L105	0.28	1.88	100	6	180	147	4200	8.39	11446.95	7.84	11118.3	-3.29
	L104	0.28	1.57	100	6	180	147	4200	7.90	11150.10	7.38	10840.8	-3.09
	L103	0.28	2.83	100	8	180	147	4200	7.97	14927.07	7.45	14510.8	-4.16
	L102	0.28	2.28	100	6	180	147	4200	8.95	11780.34	8.36	11429.9	-3.50
L101	0.28	1.66	100	6	180	147	4200	8.05	11241.23	7.52	10926.0	-3.15	

Tabla 7.27 Cálculo de la variación de la capacidad resistente de la estructura en losas.
(Continuación)

Fuente. Elaboración propia.

UBICACION	ELEMENTO	A (cm ²)	Ast (cm ²)	b _o (cm)	d (cm)	Fck (kg/cm ²)	Fcest (kg/cm ²)	Fy (kg/cm ²)	f _{cv} (kg/cm ²)	Vu (kg)	f'cv (kg/cm ²)	V'u (kg)	VR(%)
Techo de 3er Nivel	L112	0.28	1.66	100	6	180	132	4200	8.05	11241.23	7.26	10767.0	-4.74
	L111	0.28	1.66	100	6	180	132	4200	8.05	11241.23	7.26	10767.0	-4.74
	L110	0.50	3.35	100	8	180	132	4200	8.44	21948.77	7.61	21285.9	-6.63
	L109	0.28	1.41	100	6	180	132	4200	7.62	10986.61	6.87	10537.4	-4.49
	L108	0.28	1.57	100	6	180	132	4200	7.90	11150.10	7.12	10684.8	-4.65
	L105	0.28	1.88	100	6	180	132	4200	8.39	11446.95	7.57	10952.5	-4.94
	L104	0.28	1.66	100	6	180	132	4200	8.05	11241.23	7.26	10767.0	-4.74
	L103	0.28	2.83	100	8	180	132	4200	7.97	14927.07	7.19	14300.7	-6.26
	L102	0.28	1.88	100	6	180	132	4200	8.39	11446.95	7.57	10952.5	-4.94
	L101	0.28	1.88	100	6	180	132	4200	8.39	11446.95	7.57	10952.5	-4.94
Techo de 4to Nivel	L112	0.28	1.41	100	6	180	134	4200	7.62	10986.61	6.91	10558.1	-4.29
	L111	0.28	1.66	100	6	180	134	4200	8.05	11241.23	7.29	10788.8	-4.52
	L110	0.50	3.35	100	8	180	134	4200	8.44	21868.45	7.65	21236.2	-6.32
	L109	0.28	1.49	100	6	180	134	4200	7.75	11065.49	7.03	10629.6	-4.36
	L108	0.28	1.66	100	6	180	134	4200	8.05	11241.23	7.29	10788.8	-4.52
	L105	0.28	1.77	100	6	180	134	4200	8.21	11339.80	7.44	10878.2	-4.62
	L104	0.28	1.49	100	6	180	134	4200	7.75	11065.49	7.03	10629.6	-4.36
	L103	0.28	2.83	100	8	180	134	4200	7.97	14927.07	7.22	14329.6	-5.97
	L102	0.28	1.88	100	6	180	134	4200	8.39	11446.95	7.60	10975.3	-4.72
	L101	0.28	1.88	100	6	180	134	4200	8.39	11446.95	7.60	10975.3	-4.72

Los valores de VR negativos indican una pérdida de la capacidad resistente para la resistencia estimada obtenida en el cálculo hasta el orden del 7% respecto a la capacidad inicial del proyecto.

Comprobación del estado límite último mediante métodos semiprobabilistas

Comprobación de la resistencia:

Cuando se considere un estado límite de rotura o de una excesiva deformación en una sección, la comprobación debe realizarse con la siguiente ecuación:

$$E_d \leq R_d$$

Siendo

- ✓ E_d : el valor de cálculo de los efectos de las acciones.
- ✓ R_d : el valor de cálculo de la resistencia correspondiente.

El valor de E_d se obtiene con la aplicación de coeficientes parciales mayorando las cargas y con una combinación como se indica a continuación:

Situaciones de proyecto

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- Donde:

G_k Acción permanente

Q_k Acción variable

g_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

$g_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal

$g_{Q,ii}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

Coeficientes parciales de seguridad (g) y coeficientes de combinación (γ)

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con los siguientes criterios:

- **Con coeficientes de combinación**

- **Sin coeficientes de combinación**

- Donde:

G_k Acción permanente

P_k Acción de pretensado

Q_k Acción variable

g_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

g_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado

$g_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal

$g_{Q,i}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

Combinaciones

- Nombres de las hipótesis

G Carga permanente

Qa Sobrecarga de uso

- E.L.U. de rotura. Hormigón

Tabla 7.28 Valores de los coeficientes de seguridad para el cálculo.

Fuente. Elaboración propia.

Comb.	G	Qa
1	0.900	
2	1.400	
3	0.900	1.400
4	1.400	1.400

Valores de carga de Nd para pilares de la estructura obtenido con la combinación de acciones y comprobación de E.L.U:

Tabla 7.29 Comprobación de E.L.U. en pilares.

Fuente. Elaboración propia.

Nivel	Pilar	Sección (m ²)	Nsd (T)	Ed (MPa)	Fc (MPa)	Fcd (MPa)	E.L.U (Ed≤Rd)
Subsuelo	P4	0.28	164.21	5.865	16	10.667	Cumple
	P6	0.12	110.00	9.167			Cumple
	P11	0.12	160.00	13.333			No Cumple
	P22	0.12	137.61	11.468			No Cumple
	P25	0.28	237.79	8.493			Cumple
	P27	0.28	148.16	5.291			Cumple
	P29	0.28	159.29	5.689			Cumple

Valores de carga en losas de la estructura obtenido con la combinación de acciones y comprobación de E.L.U:

Tabla 7.30 Estimación de cargas para comprobación de E.L.U en losas.

Fuente. Elaboración propia.

Cargas	Un	L102	L103	L104	L105	L106	L109	L111
Peso propio	T/m ²	0.42	0.7	0.42	0.42	0.35	0.42	0.42
SC (sobrecarga de uso)	T/m ²	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Piso + Rev	T/m ²	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
Qtlosa (Qlosa+SC+Piso+Rev)	T/m²	0.84	1.12	0.84	0.84	0.77	0.84	0.84
Ra losa	T/ml	0.6846	0.8904	0.735	0.7686	0.5698	0.6678	0.6678

Tabla 7.31 Comprobación de E.L.U. en losas.

Fuente. Elaboración propia.

Nivel	LOSA	e (cm)	Q (T/m ²)	Ed (MPa)	Fc (MPa)	Fcd (MPa)	E.L.U (Ed≤Rd)
Subsuelo	L102	12	0.84	0.0084	16	10.667	Cumple
	L103	20	1.12	0.0112			Cumple
	L104	12	0.84	0.0084			Cumple
	L105	12	0.84	0.0084			Cumple
	L106	10	0.77	0.0077			Cumple
	L109	12	0.84	0.0084			Cumple
	L111	12	0.84	0.0084			Cumple

Valores de carga en vigas de la estructura obtenido con la combinación de acciones y comprobación de E.L.U:

Tabla 7.32 Estimación de cargas para comprobación de E.L.U. en vigas

Fuente. Elaboración propia.

Cargas	Un	V112	V113	V114	V115	V116	V123	V125
Peso propio	T/m	1.54	1.4	1.4	1.4	1.4	2.1	1.4
Reacción losa	T/m	1.575	1.7808	1.6254	1.5036	1.1396	1.3356	1.3356
Qviga	T/m	3.115	3.1808	3.0254	2.9036	2.5396	3.4356	2.7356
Qdistr	T/m²	7.7875	7.952	7.5635	7.259	6.349	5.726	6.839

Tabla 7.33 Comprobación de E.L.U. en vigas.

Fuente. Elaboración propia.

Nivel	Viga	b (cm)	h (cm)	Sección (cm ²)	Q (T/ml)	Ed (MPa)	Fc (MPa)	Fcd (MPa)	E.L.U (Ed≤Rd)
Subsuelo	V112	40	110	4400	3.12	0.078	16	10.667	Cumple
	V113	40	110	4400	3.18	0.080			Cumple
	V114	40	110	4400	3.03	0.076			Cumple
	V115	40	110	4400	2.90	0.073			Cumple
	V116	40	110	4400	2.54	0.063			Cumple
	V123	60	110	6600	3.44	0.057			Cumple
	V125	40	110	4400	2.74	0.068			Cumple

7.3.6 Condiciones de durabilidad

El ensayo de carbonatación brinda una medida que indica el grado de protección que presentan las barras de acero dentro del hormigón, es un indicador de la durabilidad. Fueron realizados ensayos en los distintos niveles de la estructura. La siguiente tabla resume los resultados obtenidos de este ensayo:

Tabla 7.34 Resultados de ensayos de carbonatación.

Fuente. Elaboración propia.

Nivel	Identificación	Elemento	Recubrimiento (mm)	Espesor Carbonatado (mm)	CAR/REC (%)
Sub Suelo	C1	Pilar P25	20	18.2	91%
	C2	Pilar P22	23	23	100%
	C31	Viga V114	13	13	100%
	C32	Viga V122	35	35	100%
	C33	Losa L108	24	24	100%
Planta Baja	C3	Pilar P5	35	35	100%
	C4	Pilar P18	21	21	100%
	C29	Viga V124	24	24	100%
	C30	Viga V116	14	14	100%
1er Piso	C5	Pilar PA8	18	18	100%
	C6	Pilar PA5	6	6	100%
	C25	Viga V109	16	16	100%
	C26	Losa L112	5	5	100%
	C27	Viga V111	14	14	100%
	C28	Losa L101	17	17	100%
2do Piso	C7	Pilar P30	14	14	100%
	C8	Pilar PA1	21	21	100%
	C21	Viga V121	23	23	100%
	C22	Losa L109	10	10	100%
	C23	Viga V114	20	20	100%
	C24	Losa L103	4	4	100%
3er Piso	C9	Pilar P10	17	17	100%
	C10	Pilar P21	9	9	100%
	C17	Viga V122	21	21	100%
	C18	Losa L111	13	13	100%
	C19	Viga V115	25	25	100%
	C20	Losa L104	12	12	100%
4to Piso	C11	Pilar P13	8	8	100%
	C12	Pilar PA4	15	15	100%
	C13	Viga V112	22	22	100%
	C14	Losa L102	6	6	100%
	C15	Viga V120	18	18	100%
	C16	Losa L109	17	17	100%

7.4 Diagnóstico estructural:

7.4.1 Seguridad de la estructura:

La resistencia real estimada del hormigón de la estructura es inferior a la especificada en el proyecto, se han detectado pérdidas de la capacidad resistente de hasta el orden del 15%.

Para la comprobación del estado límite por métodos semi-probabilistas, las vigas y losas cumplen satisfactoriamente con el comportamiento estructural ante las cargas actuantes, sin embargo para el caso de pilares, los pilares P11 y P22 no cumplen con esta condición en la comprobación del estado límite último.

7.4.2 Aptitud de servicio:

De la verificación de cuantías de armado se observa que los pilares cumplen satisfactoriamente los requerimientos mínimos ante las cargas para las que fue proyectada la estructura.

Las vigas y losas presentan casos puntuales en donde no verifican las cuantías de acero y deben definirse medidas de refuerzo

El 83% de las mediciones de fisuras superan el espesor razonable de 0,41 mm y un 67% de ellas seccionan a los elementos en todo su espesor, estas fisuras son verticales e inclinadas en las vigas de la estructura. Esta situación, acompañada de la baja de la capacidad resistente, las cuantías de armaduras que no verifican en algunos elementos y las comprobaciones del estado límite último indican que los daños encontrados son de carácter estructural y se deben a que la estructura supera su capacidad para las cargas previstas en el proyecto.

7.4.3 Durabilidad de la estructura:

Los ensayos de carbonatación comprueban que el recubrimiento del hormigón se encuentra carbonatado en el 100% de los casos, por tanto la armadura no cuenta con una protección ante la corrosión. Además, se observan daños por corrosión en distintas zonas de la estructura.

8 Conclusiones

Mediante la revisión bibliográfica se ha comprobado las diferencias y similitudes para el tratamiento de la evaluación estructural ofrecidas en cada normativa. Con ello fue posible identificar los procedimientos requeridos para realizar el diagnóstico estructural y adecuar el modelo a estas exigencias a fin de brindar una guía que abarque los aspectos más importantes encontrados.

En este trabajo se han considerado los casos habituales que se presentan cuando se requiere un diagnóstico estructural incluyendo una serie de actividades recomendadas para cada fase del diagnóstico, además de las fichas elaboradas que facilitan tanto la recolección de la información como las consideraciones previas que se requieren para los trabajos de evaluación y la identificación de los daños presentes que posteriormente podrán clasificarse para encontrar las posibles causas que lo originan.

La validación del modelo inicial a permitido la mejora de varios aspectos que no habían sido analizados en un principio, los profesionales que han realizado a encuesta presentaron sus sugerencias relacionadas a los daños presentes en los elementos, los aspectos a considerar previamente al inicio de la evaluación estructural, el diagnóstico cualitativo y la información a ser solicitada.

El ejemplo de aplicación a un caso existente permitió una mejor apreciación de los daños presentes en la estructura, los cuáles luego de la verificación estructural y el análisis de los resultados de ensayos, comprobaron que pertenecían al tipo de daños estructurales. Además, mediante la ficha 08 se puede confirmar que las fisuras existentes se manifiestan como se indican en los apartados 8, 9 y 16 de las referencias mencionadas en la misma.

El uso del modelo brinda mayor seguridad al momento de definir las causas de los deterioros que se producen y mejora la gestión de la información.

Existen varias líneas de investigación para ampliar el trabajo, principalmente hacia el análisis en distintos materiales (estructuras metálicas, estructuras de madera, cerramientos, tabiquerías) y al estudio de otros comportamientos que afectan a la seguridad estructural como el análisis de las vibraciones que se generan.

9 Referencias

- Calavera Ruiz, José. (2005). *Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado: Vol. 1* (2da ed.). INTEMAC.
- Calavera Ruiz, José. (2006). *Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado: Vol. 2* (2da ed.). INTEMAC.
- Fernandez Canovas, Manuel. (1994). *PATOLOGIA Y TERAPEUTICA DEL HORMIGON ARMADO 38 Edición. Actualizada* (3rd ed.).
- Fernández Gómez, J. et. al. (2001). Evaluación de la Capacidad Resistente de estructuras de Hormigón- Ensayos No Destructivos y pruebas de carga –. Intemac
- Muñoz Hidalgo Manuel (1994). *Diagnosis y causas en patología de la edificación*
- Real Decreto 470/2021, Pub. L. No. 470, Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural. (2021). <https://www.boe.es>
- ACI Committee 201. ACI 201.2R-92: Guide to durable concrete. American Concrete Institute; 1999.
- ACI Committee 228. ACI 228.2R-98: Nondestructive test methods for evaluation of concrete in structures. American Concrete Institute; 1999.
- ACI Committee 301. ACI 301-05: Specifications for structural concrete. American Concrete Institute; 2005.
- ACI Committee 302. ACI 302.1R-04: Guide for concrete floor and slab construction. American Concrete Institute; 2004.
- ACI Committee 318. ACI 318-02: Building code requirements for structural concrete and commentary. American Concrete Institute; 2002.
- ACI Committee 364. ACI 364.1R-94 (Reapproved 1999): Guide for evaluation of concrete structures prior to rehabilitation. American Concrete Institute; 1999.
- ACI Committee 546. ACI 546R-96 (Reapproved 2001): Concrete repair guide. American Concrete Institute; 2001.
- ACI - ICRI. Concrete Repair Manual. American Concrete Institute, International. Concrete Repair Institute; 1999.
- ACI Committee 562. ACI 562-19: Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures; 2019
- ACI Committe 224R. ACI 224. 1R-07 : Causes, Evaluation, and Repair of Cracks in concrete Structures ;2007
- ACI Committee 311. ACI 311. 1R.: Guide for Concrete Inspection; 2007
- UNE-EN 13791, Evaluación de la resistencia a compresión in situ en estructuras y elementos prefabricados de hormigón (2021). www.une.org

UNE-EN 112011, Corrosión en armaduras. Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio. (2011). www.une.org

UNE EN 112083, Medición del potencial de corrosión libre en estructuras de hormigón armado (2010). www.une.org

UNE EN 12504-4, Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 4: Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos (2006). www.une.org

UNE EN 12504-1, Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 1: Testigos. Extracción, examen y ensayo a compresión (2020). www.une.org

UNE EN 83988-1, Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la resistividad eléctrica (2021). www.une.org

Ley Urzaiz et. al (2019). *Evaluación de estructuras de hormigón armado*. ACHE.

Belenguer Mula, Fernando et al. (2005). Guía para la Inspección y Evaluación Preliminar de estructuras de hormigón en edificios existentes. Instituto Valenciano de la Edificación

Gavilán Martínez Sergio. (2011). Determinación de la Resistencia del Hormigón por medio de ensayos no destructivos. Tesis de Maestría. Facultad de ciencias y Tecnología UCA. Paraguay.

Avendaño Rodríguez, Elizabeth (2006). Detección, tratamiento y prevención de patologías en sistemas de concreto estructural utilizados en infraestructura industrial. Escuela de Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica.

IpiALES Aguirre, Mario (2015). Guía de Evaluación de Estructuras de Hormigón Armado y procedimientos de ensayos no destructivos, previo a su intervención y reparación. Facultad de Ingeniería Civil. UIDE. Ecuador.

Muñoz Agudelo, Julio (2012). Guía metodológica para la identificación, análisis y tratamiento de patologías en estructuras de concreto reforzado en edificaciones. Facultad de Ingeniería. ULP. Colombia.

Fonseca Barrera, Leonardo (2021). Guía metodológica para el reconocimiento in situ de patologías del concreto. Facultad de Ingeniería UMNG. Colombia.

Porto Quintián, Jesús (2005). Manual de patologías de estructuras de hormigón armado. Escola Universitaria de Arquitectura Técnica. Universidad de Coruña. España.

Cabero e Infante. (2014). Empleo del método Delphi y su empleo en la investigación en comunicación y educación. EDUTECH.

Reguant-Álvarez, M. y Torrado-Fonseca, M. (2016). El método Delphi. REIRE, Revista d'Innovació i Recerca en Educació, 9 (1), 87-102. DOI: 10.1344/reire2016.9.1916