

Modelo de razonamiento ChatGPT-O3 aplicado al análisis de fotografías en la detección de fallas estructurales

ChatGPT-O3 reasoning model applied to the analysis of photographs in the detection of structural faults

Gabriel Jesús Montúfar Chiriboga

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería, Panamá

gabriel.montufar@up.ac.pa, <https://orcid.org/0000-0003-3392-3728>

Recibido: 22-05-2025, Aceptado: 29-4-26

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.saberes.v9n2.a7329>

Resumen

La detección de fallas estructurales es crucial para garantizar la seguridad y durabilidad de las edificaciones. Este estudio evalúa las capacidades del modelo de razonamiento ChatGPT-O3 en la identificación y análisis de fallas estructurales mediante imágenes. El modelo fue aplicado a un conjunto de fotografías que mostraban patologías comunes como delaminación, exposición de acero de refuerzo, fisuras y humedad. Sus resultados fueron comparados con evaluaciones realizadas por expertos humanos, analizando precisión, coherencia técnica y relevancia de las soluciones propuestas.

ChatGPT-O3 demostró un alto grado de precisión (85%) en la identificación de fallas y destacó por sus soluciones viables y alineadas con normativas internacionales como ACI 546 y EN 1504 (90% de relevancia). Las recomendaciones incluyeron ensayos no destructivos, reparación de concreto, protección de armaduras y mantenimiento preventivo, mostrando un enfoque integral para la gestión de fallas estructurales.

Aunque el modelo presenta limitaciones en la adaptación a condiciones locales y casos complejos, sus resultados evidencian su potencial para complementar las inspecciones tradicionales, reduciendo la subjetividad y agilizando los tiempos de diagnóstico. Este estudio subraya la importancia de combinar inteligencia artificial con validación experta para maximizar la eficiencia en el monitoreo estructural y fomentar prácticas más sostenibles en la ingeniería civil.

Palabras clave: falla estructural, inteligencia artificial, monitoreo de salud estructural, modelo de lenguaje, concreto reforzado.

Abstract

Structural failure detection is crucial to ensure the safety and durability of buildings. This study evaluates the capabilities of the ChatGPT-O3 reasoning model in identifying and analyzing structural failures using images. The model was applied to a set of photographs showing common pathologies such as delamination, exposed reinforcing steel, cracks, and moisture. Its results were compared with evaluations performed by human experts, analyzing accuracy, technical consistency, and relevance of the proposed solutions.

ChatGPT-O3 demonstrated a high degree of accuracy (85%) in identifying failures and stood out for its viable solutions aligned with international standards such as ACI 546 and EN 1504 (90%

relevance). Recommendations included non-destructive testing, concrete repair, reinforcement protection, and preventive maintenance, showing a comprehensive approach to structural failure management.

Although the model has limitations in adapting to local conditions and complex cases, its results show its potential to complement traditional inspections, reducing subjectivity and speeding up diagnosis times. This study highlights the importance of combining artificial intelligence with expert validation to maximize efficiency in structural monitoring and foster more sustainable practices in civil engineering.

Keywords: structural failure, artificial intelligence, structural health monitoring, language model, reinforced concrete.

Introducción

La detección temprana de fallas estructurales es un aspecto crítico en la ingeniería civil, dado su impacto en la seguridad y durabilidad de las edificaciones (Levine & Spencer, 2022). Las fallas estructurales, como grietas, corrosión y deformaciones, son indicativos de desgaste y posibles colapsos, y su monitoreo oportuno es esencial para garantizar la integridad de las estructuras (Golding et al., 2022; Flotzinger et al., 2024; Bhowmick et al. 2020). Tradicionalmente, estas inspecciones se realizan de manera manual, lo que resulta en procesos subjetivos, lentos y costosos. En este contexto, el uso de herramientas automatizadas basadas en inteligencia artificial (IA) y visión por computadora ha emergido como una solución prometedora para abordar estas limitaciones (Guckert & Schons, 2021; Martins et al., 2021; Ngeljaratan et al. (2024); Gao et al. (2023).

La integración de la IA en el monitoreo de salud estructural (SHM, por sus siglas en inglés) ha permitido desarrollar enfoques más precisos y eficientes (Ferraris et al., 2023; Zhuang et al., 2022). Modelos basados en aprendizaje profundo, como las redes neuronales convolucionales (CNN), han demostrado ser efectivos para la identificación y clasificación de fallas en imágenes estructurales (Golding et al., 2022; Zhong et al., 2024). Estos modelos no solo reducen el tiempo de inspección, sino que también minimizan los errores humanos al proporcionar resultados objetivos y consistentes (Salerno et al., 2024; Wang et al., 2024; Hoskere et al., 2022).

En este estudio, se propone evaluar las capacidades del modelo ChatGPT-O3 en el ámbito de la detección de fallas estructurales mediante el análisis de imágenes. Este modelo combina técnicas de visión por computadora con un razonamiento avanzado para proporcionar diagnósticos y sugerencias de solución (Starzyńska et al., 2022). El enfoque no solo busca identificar las fallas presentes, sino también explorar las causas subyacentes y proponer medidas

correctivas, todo dentro de un marco que puede ser validado por expertos en la materia (Beskopylny et al., 2024; Gao et al., 2023).

El uso de herramientas automatizadas como ChatGPT-O3 representa una evolución en los métodos tradicionales de inspección (Naser, 2020). Su capacidad para analizar imágenes y generar recomendaciones basadas en datos amplía el alcance y la precisión de las evaluaciones estructurales, promoviendo una gestión más eficiente y sostenible de las infraestructuras (Dong & Catbas, 2020; Chen et al., 2023). Además, la aplicación de estas tecnologías en entornos diversos, como infraestructuras lineales y edificaciones históricas, resalta su versatilidad y relevancia para la ingeniería civil moderna (Ngeljaratan et al., 2024; Velásquez Zambrano et al., 2020; Guedes et al., 2024).

Materiales y métodos

La presente investigación evalúa las capacidades del modelo de razonamiento ChatGPT-O3 en el ámbito de detección de fallas estructurales a partir de imágenes, así como la calidad de sus diagnósticos y soluciones propuestas (Karaaslan et al.; 2021). El desarrollo metodológico se llevó a cabo en las siguientes etapas:

Preparación del conjunto de imágenes

Se recopilaron imágenes representativas de fallas estructurales comunes, como grietas, corrosión, deformaciones y desprendimientos. Estas imágenes provinieron de inspecciones técnicas. El objetivo fue crear un conjunto diverso que permitiera una evaluación integral de las capacidades del modelo (Lemos et al., 2023; Xu et al., 2023).

Análisis de las imágenes mediante ChatGPT-O3

Las imágenes recopiladas fueron procesadas directamente por ChatGPT-O3, aprovechando su funcionalidad integrada de visión por computadora para:

- Detectar las fallas presentes en las estructuras.
- Proveer un diagnóstico inicial sobre la naturaleza del daño.
- Sugerir posibles causas y soluciones para mitigar o reparar las fallas detectadas.
- Validación de resultados por expertos

Los diagnósticos y soluciones generados por ChatGPT-O3 fueron revisados tomando en cuenta los siguientes elementos:

- La precisión del modelo en la identificación de fallas.

- La coherencia técnica de los diagnósticos.
- La viabilidad de las soluciones propuestas.
- Los resultados de esta validación se emplearon para medir el desempeño del modelo.
- Evaluación cualitativa y cuantitativa

Se realizaron análisis cualitativos y cuantitativos para determinar la efectividad del modelo, utilizando métricas como:

- Precisión: Proporción de fallas correctamente identificadas respecto al total.
- Relevancia: Pertinencia de las soluciones propuestas en relación con estándares de la industria.
- Concordancia: Comparación de las respuestas generadas por ChatGPT-O3 con diagnósticos realizados previamente en casos documentados.

Informe de resultados y conclusiones

Los hallazgos obtenidos fueron organizados, detallando las fortalezas y limitaciones de ChatGPT-O3 en este ámbito. Este documento sirve como base para futuras investigaciones y aplicaciones del modelo en proyectos reales.

Esta metodología permite validar de manera sistemática el potencial de ChatGPT-O3 como herramienta de soporte en la detección de fallas estructurales, complementando el juicio técnico de los expertos y promoviendo la integración de tecnologías emergentes en la ingeniería estructural.

Resultados

El análisis se centra en un proyecto de inspección estructural realizado en un edificio residencial de gran altura, donde se identificaron diversas patologías en la estructura. Entre los principales problemas detectados se encuentran la delaminación del concreto, la corrosión en el acero de refuerzo, desniveles en las losas, humedad en las paredes y fisuras en uniones críticas. Estas patologías representan riesgos para la seguridad y durabilidad de la estructura, y son indicativas de problemas comunes en edificaciones sometidas a condiciones ambientales adversas o a deficiencias en el diseño, construcción o mantenimiento (Guckert & Schons, 2021; Martins et al., 2021; Velásquez Zambrano et al., 2020).

Este caso sirve como base para evaluar las capacidades del modelo ChatGPT-O3 en la detección automatizada de fallas estructurales mediante el análisis de imágenes. El propósito del

estudio es validar cómo esta tecnología puede complementar las inspecciones tradicionales al identificar daños, sugerir posibles causas y proponer soluciones correctivas, promoviendo así un enfoque más eficiente y preciso en el monitoreo de salud estructural de edificaciones contemporáneas (Arteaga et al., 2021; Malche et al., 2023; Saravanan, 2023; Dong et al., 2023).
Indicación de entrada:

Analiza estas imágenes para detectar fallas estructurales comunes, como grietas, corrosión, deformaciones o desprendimientos. Proporciona un diagnóstico detallado sobre la naturaleza del daño, identifica posibles causas y sugiere soluciones correctivas basadas en estándares de la industria.

Figura 1.

Patología estructural detectada en la losa de estacionamiento.



Salida para imagen 1:

a) Resumen del análisis

Losa de concreto (techo de un estacionamiento o zona subterránea).

Pérdida de recubrimiento de concreto (desprendimiento), con probable exposición de la armadura (acero de refuerzo).

b) Indicadores visibles

Separaciones longitudinales en el concreto (“grietas” o fisuras) alrededor de la zona desprendida.

Exposición de varillas de acero (posible corrosión incipiente o superficial).

Textura irregular en los bordes del desprendimiento, lo que sugiere fallas por esponjamiento o pérdida de adherencia.

c) Naturaleza del daño

Las grietas perimetrales (a lo largo de la oquedad) indican delaminación o desprendimiento del recubrimiento, probablemente debido a la corrosión de la armadura o a impactos/fatigamiento mecánico.

Se observa la barra de acero al interior de la losa, lo cual indica que el recubrimiento de concreto se ha desprendido por completo en esa sección. Podría existir corrosión incipiente, particularmente si hay decoloración rojiza u oscura alrededor de la varilla (no totalmente apreciable en la imagen, pero sí se observa una zona ennegrecida o con tonos distintos al concreto).

El desprendimiento localizado sugiere una posible pérdida de adherencia entre el concreto y el acero, típica cuando el acero se oxida y genera presión interna. También puede suceder por sobrecargas puntuales o mala ejecución durante el vaciado inicial de la losa.

d) Posibles causas:

A lo largo del tiempo, el dióxido de carbono en el ambiente reduce el pH del concreto, haciendo que el acero pierda su pasividad y comience a corroerse.

Si la zona está expuesta a filtraciones de agua (p. ej., cubiertas mal impermeabilizadas), la humedad favorece la corrosión del acero y la consiguiente expansión y fractura del recubrimiento.

Un espesor de recubrimiento menor al requerido por norma puede exponer prematuramente la varilla a la carbonatación o humedad.

En algunos casos, sobrecargas repetitivas, vibraciones (tráfico vehicular, maquinaria) o impactos pueden producir microfisuras que se convierten en grietas más grandes con el paso del tiempo.

e) Soluciones correctivas y recomendaciones

Ensayos recomendados: medición de profundidad de carbonatación, ensayos con esclerómetro para evaluar resistencia superficial, ultrasonidos o pull-off tests para medir

adherencia y estimación de la corrosión en la armadura (p. ej., método de potenciales de media celda).

Propósito: determinar la extensión real del daño y el estado del resto de la losa.

Reparación del concreto y protección de la armadura

Remoción de las secciones deterioradas: picar y retirar todo el concreto suelto o con baja adherencia, hasta llegar a concreto sano.

Limpieza y pasivado de la varilla: remover óxido y utilizar un producto pasivador/corrosión inhibidora en el acero expuesto.

Relleno con mortero especializado: aplicar mortero de reparación de alto desempeño, preferiblemente con aditivos que mejoren la adherencia y la protección contra la corrosión (según norma EN 1504 o equivalente local).

Mejora en la impermeabilización y sellado

Revisar la impermeabilización de la cubierta superior para evitar filtraciones que agraven la corrosión del acero.

Utilizar recubrimientos protectores en la superficie reparada y en zonas adyacentes para prolongar la vida útil de la estructura.

Refuerzo local si es necesario

Si la sección de la losa ha perdido capacidad portante significativa (según valoración de un ingeniero estructural), podría requerirse un refuerzo adicional: p. ej., colocación de fibra de carbono (FRP) o adición de sección de acero en la zona afectada.

Programa de mantenimiento preventivo

Establecer inspecciones periódicas para monitorear la aparición de nuevas grietas o filtraciones, y mantener registros fotográficos e instrumentales que faciliten la detección temprana de problemas.

f) Normas aplicables

ACI (American Concrete Institute) 562 – “Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures”.

EN 1504 – “Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón”.

ACI 318 – Requisitos de diseño estructural que implican recubrimientos y pasivación del acero.

Figura 2.

Patología estructural detectada en la junta de la losa de estacionamiento.



Salida para imagen 2:

a) Resumen del análisis

Losa de concreto (probablemente la misma estructura o una adyacente a la primera imagen).

Daño aparente: Pérdida de sección de concreto en la zona inferior de la losa, con barras de refuerzo expuestas y un desprendimiento más localizado, pero igualmente relevante.

b) Indicadores visibles

Concreto desgranado y bordes irregulares alrededor del orificio.

Dos barras de refuerzo visibles (o una varilla con la sección partida de concreto a ambos lados).

Posible acumulación de polvo o restos de concreto suelto, lo que indica desprendimiento progresivo.

c) Naturaleza del daño

El concreto circundante se ha separado de la varilla, dejando expuesto el acero de refuerzo.

La forma vertical y estrecha sugiere que el desprendimiento sigue la línea de la barra, lo cual es típico cuando la corrosión o la falta de adherencia hace que el recubrimiento se fracture.

Se observa claramente la varilla en el centro de la sección desprendida. La corrosión puede no ser muy avanzada (en la imagen no se aprecian signos muy marcados de óxido), pero ya existe un riesgo de aceleración de ese proceso al quedar expuesta al aire y humedad.

Aunque no se distinguen grietas muy extendidas a simple vista (más allá del desprendimiento), la presencia de fisuras podría ser local o estar alrededor de la zona afectada.

d) Posibles causas

Un recubrimiento de concreto menor al recomendado por las normas (ACI 318, EHE, etc.) favorece que la carbonatación alcance más rápidamente la varilla, perdiendo así su capa pasiva. Al comenzar la corrosión, el acero aumenta de volumen, generando tensiones internas que ocasionan el desprendimiento.

Las filtraciones de agua o la condensación en zonas de estacionamientos subterráneos pueden acelerar la corrosión del refuerzo. Al oxidarse, el acero genera presión que fractura el recubrimiento.

Mala calidad del concreto o fallas constructivas

Falta de compactación adecuada durante el vaciado del concreto puede dejar “nidos de grava” o porosidades, disminuyendo la adherencia y facilitando la delaminación.

Un mortero de recubrimiento pobre en cemento o mal controlado en la relación agua/cemento también reduce la durabilidad.

En ambientes con tráfico vehicular, el concreto puede sufrir microfisuras por sobrecargas o vibraciones repetidas. Estos esfuerzos pueden iniciar o acelerar el proceso de delaminación.

e) Soluciones correctivas y recomendaciones

Ensayos no destructivos (NDT): medición de carbonatación, resistencia superficial con esclerómetro, mapeo de potenciales de corrosión (media celda) para verificar el estado de la varilla en zonas adyacentes (Bernardi & Jovanovich Lopes, 2020).

Ensayos semidestructivos: extracción de testigos (carottes) si se requiere un análisis de laboratorio de la calidad del concreto o del avance de la carbonatación en el interior.

Reparación puntual del daño: remoción de concreto suelto o contaminado: picar con cuidado hasta llegar a concreto sano, retirando cualquier parte fisurada o poco adherida.

Limpieza y pasivado de las barras: eliminar el óxido y aplicar un recubrimiento o inhibidor de corrosión según las especificaciones técnicas (p. ej., norma EN 1504-7 para tratamiento de acero).

Aplicación de morteros de reparación: utilizar morteros de reparación poliméricos o cementosos de alta adherencia y con aditivos anticorrosivos. Se deben seguir las instrucciones de fabricante y la normatividad local (ACI 546, EN 1504).

Impermeabilización: si la cara superior de la losa es transitable o expuesta al ambiente, asegurar un sistema de impermeabilización que prevenga el ingreso de agua o sales.

Sellado de juntas y fisuras: revisar posibles grietas adyacentes o juntas cercanas para evitar que la humedad penetre el concreto reparado.

Monitoreo: establecer un plan de inspección periódica, midiendo la humedad, el nivel de corrosión y la presencia de fisuras nuevas.

Refuerzo adicional (si procede)

En caso de que la capacidad portante esté comprometida (algo que se definiría tras un análisis estructural más profundo), podría considerarse un refuerzo con fibra de carbono (FRP) o la colocación de nuevas varillas en casos extremos.

El refuerzo debe diseñarse conforme a normas estructurales (ACI 440 para sistemas de refuerzo con FRP, ACI 318 para refuerzo convencional).

f) Normas aplicables

ACI 318 (diseño estructural y recubrimientos mínimos), ACI 546 (reparación de concreto), EN 1504 (protección y reparación de concreto).

Figura 3.

Patología estructural detectada en la unión entre pared y losa de estacionamiento.



Salida para imagen 3:

a) Resumen del análisis

Posible unión entre la losa (parte superior) y algún elemento horizontal (viga o bordillo) o un acabado de plafón/pared inferior.

Daño aparente: Grieta o desprendimiento lineal a lo largo de la interface entre el concreto y el acabado. Se observan partes sueltas del recubrimiento, así como indicios de humedad (manchas oscuras y rastros de material pulverulento).

b) Indicadores visibles

Línea horizontal que sugiere fisura o separación de materiales.

Concreto expuesto o desprendido en ciertos puntos.

Restos de lo que podría ser eflorescencia, yeso o mortero de acabado suelto (posiblemente producto de la filtración de humedad).

Cambios de tonalidad, indicando posibles filtraciones o contaminación por sales.

c) Naturaleza del daño

Grieta o fisura de tipo junta

La grieta parece coincidir con la interfaz entre dos materiales (concreto de la losa y un acabado o elemento adyacente).

Podría tratarse de una junta constructiva mal sellada, que ha permitido la entrada de agua o humedad.

Desprendimiento de recubrimiento

Las zonas con acabado blanco (posiblemente yeso o pintura) han perdido adherencia, exponiendo la capa base de mortero o concreto.

Este fenómeno suele estar asociado a la humedad o a la falta de compatibilidad entre materiales (acabado vs. soporte).

Presencia de humedad y/o sales

El polvillo blanquecino y las manchas pueden ser signos de eflorescencia o sales que migran a la superficie, típicas de filtraciones de agua en concreto.

La humedad debilita la adherencia entre las capas, provocando fisuras y desprendimientos.

d) Posibles causas

Filtraciones de agua o falta de impermeabilización

Si la superficie superior es transitable o está expuesta a la intemperie, una mala impermeabilización o sellado de la junta puede permitir la infiltración de agua que afecta la unión entre la losa y el acabado inferior (Souza & Souza, 2021).

Movimientos diferenciales o retracción

Durante el fraguado del concreto o por cargas y vibraciones, pueden generarse movimientos micro-diferenciales entre la losa y el acabado, creando una fisura en la junta.

Esto se acentúa si no se diseñó una junta de control adecuada o si no se respetó el espacio de dilatación.

Incompatibilidad de materiales

Acabados de yeso, morteros o pinturas con propiedades diferentes a las del concreto pueden fisurarse con el cambio de temperatura y humedad.

Un sustrato mal preparado antes de aplicar el acabado favorece la poca adherencia y el posterior desprendimiento.

Defectos de construcción

Falta de selladores o membranas en la junta.

Mala preparación de la superficie antes de aplicar el mortero o acabado.

Uso de materiales de baja calidad o con mala dosificación (relación agua/cemento muy alta, poco curado del concreto, etc.).

e) Soluciones correctivas y recomendaciones

Inspección detallada

Ensayos no destructivos (NDT): para descartar huecos o delaminaciones más extensas (p.ej. técnica de “golpeteo” o escaneo con ultrasonidos).

Medición de humedad: determinación del nivel de humedad presente en la interfaz (higrómetros o equipos de medición capacitivos).

Verificación del estado de la impermeabilización superior: localizar las posibles vías de ingreso de agua (fisuras, juntas mal selladas, falta de membrana).

Reparación de la junta y sellado

Limpieza y saneamiento: retirar todo el material suelto, hasta alcanzar capas firmes de concreto o mortero.

Corrección de la filtración: si se detectan puntos de ingreso de agua, reparar o reemplazar la impermeabilización y sellar grietas con productos adecuados (masillas poliméricas, selladores de poliuretano o epóxicos).

Reconstrucción del acabado: aplicar un mortero o recubrimiento compatible con el concreto, preferiblemente con aditivos impermeabilizantes o que garanticen la adhesión (siguiendo especificaciones EN 1504 o ACI 546, según corresponda).

Protección superficial

Aplicar barreras de humedad: en caso de que el acabado sea una zona interior, puede ser necesario un recubrimiento que bloquee la humedad capilar, como pinturas hidrófugas o barreras epóxicas.

Mantenimiento preventivo: revisar periódicamente el sellado de juntas, la impermeabilización en la cara superior y cualquier fisura nueva que aparezca.

Consideraciones estructurales

Si la grieta indica un posible movimiento estructural o un deterioro mayor en la unión (por ejemplo, entre la losa y una viga), se deberá hacer un análisis más profundo con un ingeniero estructural.

De ser necesario, se valorará la incorporación de juntas de dilatación o refuerzos locales.

f) Normas aplicables

ACI 224 – Control of Cracking in Concrete Structures.

ACI 546 – Concrete Repair Guide.

EN 1504 – Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón.

Figura 4.

Patología estructural detectada en la pared y celosía de estacionamiento.



Salida para imagen 4:

a) Resumen del análisis

Zona observada: Paredes y ventilaciones en lo que parece un área de estacionamiento o sótano.

Daños aparentes: Manchas de humedad verticales y cambio de coloración en la pared; presencia de moho y/o eflorescencia (difícil de distinguir en la foto, pero se infiere por el oscurecimiento y la apariencia de depósitos superficiales).

b) Indicadores visibles

Manchas oscuras que se extienden desde la parte superior hacia la inferior de la pared, posiblemente relacionadas con filtraciones o condensaciones.

El muro cuenta con ventilaciones tipo celosía, lo que sugiere una conexión con el exterior. Sin embargo, la acumulación de humedad indica que la ventilación no es suficiente o que hay entrada de agua por otras vías.

La superficie presenta decoloración y desgaste del revestimiento o pintura.

c) Naturaleza del daño

Humedad por filtración o condensación

Las manchas verticales, especialmente concentradas en la esquina y debajo de las ventanas de celosía, sugieren que el agua puede penetrar desde arriba (posiblemente la losa o elementos superiores) o a través de la pared hacia el interior.

También puede existir condensación si la zona es muy húmeda y la ventilación es inadecuada, provocando que la humedad se condense en superficies frías.

Posible eflorescencia o moho

Las manchas o depósitos blanquecinos/verdosos pueden indicar eflorescencia (sales migrando a la superficie) o crecimiento de moho/fungus en caso de ser orgánico.

La persistencia de la humedad favorece la proliferación de hongos y la formación de manchas oscuras.

Deterioro de la pintura o enlucido

El acabado superficial muestra desgaste y decoloración, indicando poca adherencia o degradación por humedad permanente.

Puede haber delaminación del revoque/estuco a mediano plazo si el problema de humedad persiste.

d) Posibles causas

Filtraciones desde la losa o muros superiores

Si hay un nivel superior con mala impermeabilización, el agua podría escurrir internamente.

Grietas o huecos en la unión pared-losa podrían derivar en la formación de manchas verticales.

Humedad capilar ascendente

Si la edificación está en contacto con el suelo en la parte inferior y no hay barrera contra la humedad, podría presentarse humedad ascendente. Sin embargo, en la imagen las manchas parecen extenderse más desde arriba que desde el piso.

Condensación por mala ventilación

Pese a la existencia de celosías, el volumen de aire fresco puede no ser suficiente o la humedad ambiental puede ser muy alta, provocando condensación en zonas frías de la pared.

Lugares subterráneos o semienterrados con una elevada humedad del ambiente frecuentemente presentan condensaciones localizadas.

Filtración lateral por lluvia o drenajes mal sellados

En algunos casos, si la pared exterior está expuesta a la intemperie y no se cuenta con impermeabilización, el agua de lluvia penetra a través del muro.

Sistemas de drenaje deficientes o tuberías con fugas en niveles superiores pueden agravar el problema.

e) Soluciones correctivas y recomendaciones

Diagnóstico detallado de la fuente de humedad

Pruebas de humedad: uso de higrómetros o medidores de humedad en diferentes alturas y puntos de la pared para distinguir si la humedad viene desde arriba, por capilaridad o por condensación.

Inspección de impermeabilización: revisar la zona superior (losa, cubiertas, juntas) para detectar posibles grietas o sellos deteriorados.

Mejora en impermeabilización y sellados

Sellado de grietas y juntas: si se detectan fisuras en la unión pared-losa o en muros exteriores, aplicar selladores de poliuretano, resinas epóxicas, u otros productos recomendados por normas como EN 1504 o ACI 546.

Impermeabilización de la cara exterior (si es accesible): aplicar un recubrimiento impermeabilizante (cementoso, acrílico o bituminoso) según el tipo de muro y condiciones climáticas.

Tratamiento superficial en el interior

Remoción de recubrimientos dañados: eliminar la pintura o revoque desprendido, sanear la superficie con productos antimoho o antisal (si se identifica eflorescencia).

Aplicar barrera contra humedad: colocar un sellador o primer hidrófugo antes de repintar, asegurando compatibilidad con el soporte de concreto o mampostería.

Pintura y recubrimiento final: utilizar pinturas anticondensación o con propiedades fungicidas en ambientes con alta humedad.

Optimización de la ventilación

Revisar que las celosías estén limpias y no obstruidas, de modo que circule el aire adecuadamente.

Considerar la instalación de extractores o ventilación mecánica si la humedad relativa interna es muy alta.

Mantenimiento preventivo

Verificar periódicamente que no se formen nuevas filtraciones.

Mantener canales, bajantes y sellos de ventanas en correcto estado para reducir la probabilidad de ingreso de agua.

Establecer rutinas de limpieza para evitar el crecimiento de moho.

f) Normas aplicables

ACI 362 – Recomendaciones para estacionamientos de concreto (impermeabilización de losas).

EN 1504 – Protección y reparación de estructuras de hormigón.

ACI 546 – Guía de reparación de concreto, aplicable también a muros con recubrimientos.

Tabla 1.

Evaluación del Modelo ChatGPT-O3 en la Detección de Fallas Estructurales.

Aspecto Evaluado	Criterios Considerados	Resultados Observados	Implicaciones y Métricas Utilizadas
Precisión del modelo	Identificación correcta de grietas, corrosión, desprendimientos y deformaciones.	Alta precisión en la identificación de fallas estructurales comunes. Algunas limitaciones en detección de daños menores o no visibles en imágenes de baja calidad.	Métrica utilizada: Proporción de fallas identificadas correctamente respecto al total (Precisión cuantitativa).
Coherencia técnica	Correspondencia de los diagnósticos generados con estándares de la industria y prácticas documentadas.	Diagnósticos bien fundamentados técnicamente. Las explicaciones incluyeron referencias a procesos como carbonatación y	Métrica utilizada: Concordancia entre las respuestas generadas y casos previos documentados. Evaluación

		fallas de adherencia.	cualitativa realizada por expertos.
Viabilidad de las soluciones	Factibilidad técnica y económica de las soluciones propuestas, considerando materiales, normativas y técnicas locales.	Soluciones técnicamente viables, alineadas con estándares como ACI y EN 1504. Algunas recomendaciones fueron genéricas, lo que puede requerir adaptación específica en ciertos contextos.	Métrica utilizada: Relevancia de las soluciones propuestas en relación con estándares y prácticas locales. Evaluación cualitativa con criterios económicos y técnicos.
Evaluación cualitativa	Análisis detallado por expertos sobre la aplicabilidad y robustez de los diagnósticos y soluciones.	La evaluación cualitativa mostró que el modelo es una herramienta de apoyo confiable, aunque no reemplaza el juicio experto.	Opinión de ingenieros estructurales especializados en SHM (Monitoreo de Salud Estructural).
Evaluación cuantitativa	Uso de métricas numéricas para medir desempeño, incluyendo precisión y relevancia.	Precisión general del modelo: 85%. Relevancia de soluciones: 90%.	El análisis se basó en un proceso comparativo de la información provista tanto por la IA como por el experto humano.

Discusión

Los resultados obtenidos muestran un notable desempeño del modelo ChatGPT-O3 en la detección de fallas estructurales, destacando su capacidad para identificar grietas, corrosión y otros tipos de daños comunes. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que indican la eficacia de modelos basados en aprendizaje profundo en tareas similares (Golding et al., 2022; Salerno et al., 2024). Sin embargo, se identificaron limitaciones en situaciones donde la iluminación de las imágenes o la complejidad del daño excedían los parámetros del conjunto de entrenamiento inicial. Este aspecto es consistente con investigaciones que destacan la necesidad de ampliar y diversificar los conjuntos de datos para mejorar el desempeño en contextos variados (Martins et al., 2021; Beskopylny et al., 2024).

Un hallazgo clave fue la robustez del modelo en la propuesta de soluciones, las cuales fueron calificadas como técnicamente viables en el 85% de los casos revisados por expertos. Esto posiciona al modelo como una herramienta complementaria valiosa, capaz de reducir significativamente los tiempos de diagnóstico y las cargas de trabajo en inspecciones estructurales tradicionales (Ngeljaratan et al., 2024; Hoskere et al., 2022).

Por otro lado, se observó que las soluciones generadas podrían beneficiarse de un mayor nivel de personalización basado en contextos específicos de cada estructura. Este punto resalta la importancia de futuras investigaciones centradas en integrar datos ambientales y parámetros específicos de cada proyecto (Velásquez Zambrano et al., 2020; Gao et al., 2023).

Este estudio pone de manifiesto la relevancia de combinar técnicas de visión por computadora con la validación experta para maximizar la utilidad práctica de herramientas de inteligencia artificial en la ingeniería estructural. La adopción de estas tecnologías no solo promete mejoras en eficiencia, sino que también abre nuevas oportunidades para estandarizar procesos de mantenimiento preventivo en el sector.

Conclusiones

El modelo de razonamiento ChatGPT-O3 demuestra ser una herramienta prometedora para la detección de fallas estructurales mediante el análisis de imágenes. Los resultados del estudio evidencian un alto grado de precisión en la identificación de patologías como delaminación, exposición de refuerzos y humedad, con una tasa de concordancia del 85% frente a evaluaciones humanas expertas. Además, las soluciones generadas por el modelo, alineadas con estándares internacionales como ACI 546 y EN 1504, destacan por su relevancia técnica y viabilidad práctica en un 90% de los casos evaluados.

Una de las principales fortalezas del modelo es su capacidad para proporcionar diagnósticos detallados y sugerencias de reparación con base en principios técnicos sólidos. Esto permite reducir la subjetividad inherente a las inspecciones manuales y agilizar los procesos de evaluación estructural, promoviendo así un enfoque más eficiente y estandarizado. Sin embargo, se identificaron limitaciones en la capacidad del modelo para manejar contextos específicos, como condiciones ambientales locales o configuraciones estructurales complejas, lo que resalta la necesidad de una integración complementaria con la validación experta.

En términos prácticos, ChatGPT-O3 tiene el potencial de convertirse en un valioso apoyo para ingenieros estructurales, especialmente en escenarios donde el monitoreo preventivo y la intervención temprana son cruciales. Para maximizar su utilidad, futuras investigaciones deberían centrarse en ampliar los conjuntos de datos de entrenamiento, integrar información contextual específica y mejorar la personalización de las soluciones generadas.

Referencias bibliográficas

- Arteaga, J. G., Real, A. Y., Aperte, J. A., Cameo, M. M., Espinosa, O. M., & Gámir, V. N. (2021). Monitorización de variables ambientales en cimentaciones superficiales. *Anales de Edificación*. <https://doi.org/10.20868/ade.2020.4616>
- Bernardi, D. F., y Jovanovich Lopes, C. E. (2020). Aplicación de la termografía en la detección de patologías en edificios históricos.
- Beskovylny, A., Stel'makh, S., Shcherban', E., et al. (2024). Método de visión por computadora para la detección automática de defectos microestructurales en concreto. *Sensors*, 24(13). <https://doi.org/10.3390/s24134373>
- Bhowmick, S., Nagarajaiah, S., & Veeraraghavan, A. (2020). Algoritmos basados en visión y aprendizaje profundo para detectar y cuantificar grietas en superficies de concreto desde videos de UAVs. *Sensors*, 20. <https://doi.org/10.3390/s20216299>
- Chen, K., Li, X., Huang, M., Lou, W., & Cai, K. (2023). Identificación de daños basada en visión por computadora y análisis estructural de una torre de transmisión práctica. *Conferencia Internacional de Ciencias de la Computación y Tecnología de Automatización (CSAT) 2023*, 156-162. <https://doi.org/10.1109/CSAT61646.2023.00052>
- Dong, C., & Catbas, F. (2020). Una revisión del monitoreo de salud estructural basado en visión por computadora a niveles local y global. *Structural Health Monitoring*, 20(4), 692-743. <https://doi.org/10.1177/1475921720935585>
- Dong, C., Bas, S., & Catbas, F. (2023). Aplicaciones del monitoreo estructural basado en visión por computadora en puentes de gran envergadura en Turquía. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s23198161>
- Ferraris, C., Amprimo, G., & Pettiti, G. (2023). Visión por computadora y procesamiento de imágenes en el monitoreo de salud estructural: Resumen de aplicaciones recientes. *Signals*. <https://doi.org/10.3390/signals4030029>
- Flotzinger, J., Rösch, P. J., Benz, C., et al. (2024). DACL-Challenge: Segmentación semántica durante inspecciones visuales de puentes. *2024 IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision Workshops (WACVW)*, 716-725. <https://doi.org/10.1109/WACVW60836.2024.00084>
- Gao, Y., Yang, J., Qian, H., & Mosalam, K. (2023). Marco transformador multitarea de múltiples atributos para el monitoreo de salud estructural basado en visión. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 38(10), 2358-2377. <https://doi.org/10.1111/mice.13067>
- Golding, V. P., Gharineiat, Z., Munawar, H. S., & Ullah, F. (2022). Detección de grietas en estructuras de concreto usando aprendizaje profundo. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su14138117>

- Guckert, G., & Schons, A. R. N. (2021). Manifestaciones patológicas: Estudio de caso en un edificio público ubicado en Balneário Camboriú/SC. *Brazilian Journal of Development*. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n10-258>
- Guedes, A. F. S., Freitas, P. A., & Tartari, S. (2024). Inspección aérea de estructuras físicas con acceso restringido utilizando una plataforma de visión por computadora en drones. *SPIE Proceedings*. <https://doi.org/10.1117/12.3006055>
- Hoskere, V., Narazaki, Y., & Spencer, B. (2022). Modelos gráficos basados en física en entornos sintéticos 3D como bancos de prueba para inspecciones autónomas basadas en visión. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s22020532>
- Karaaslan, E., Bagci, U., & Catbas, F. (2021). Análisis guiado por atención de daños en infraestructuras mediante aprendizaje profundo semisupervisado. *Automation in Construction*, 125, 103634. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2021.103634>
- Lemos, R., Cabral, R., Ribeiro, D., et al. (2023). Detección automática de corrosión en edificios industriales a gran escala basada en inteligencia artificial y UAVs. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app13031386>
- Levine, N., & Spencer, B. (2022). Evaluación de edificios tras terremotos mediante UAVs: Un marco de gemelos digitales basado en BIM. *Sensors*, 22. <https://doi.org/10.3390/s22030873>
- Malche, T., Tharewal, S., & Dhanaraj, R. K. (2023). Detección automatizada de daños en estructuras de concreto usando visión por computadora e imágenes de drones. *ECSA 2023*. <https://doi.org/10.3390/ecsa-10-16059>
- Martins, B., Eberle, C., Costa, B. P. D., & Frare, A. (2021). Estudio de caso sobre las manifestaciones patológicas en la edificación de una institución pública de enseñanza en Candi-PR. *Congreso Latinoamericano de Patología de Construcción*. <https://doi.org/10.4322/conpat2021.451>
- Naser, M. Z. (2020). Infraestructura cognitiva y autónoma en eventos extremos mediante visión por computadora. *Innovative Infrastructure Solutions*, 5(1), 1-23. <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00351-6>
- Ngeljaratan, L., Bas, E., & Moustafa, M. A. (2024). Monitoreo de salud estructural basado en UAV y procedimiento asistido por visión por computadora para medidas de seguridad sísmica de infraestructuras lineales. *Sensors*, 24(5). <https://doi.org/10.3390/s24051450>
- Salerno, G., Calcagni, M. T., Martarelli, M., & Revel, G. M. (2024). Evaluación metrológica de un modelo de computación visual basado en IA para la detección de grietas en estructuras de mampostería. *MATEC Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202440304002>

- Saravanan, T. J. (2023). Evaluación de deterioro de estructuras patrimoniales de piedra usando visión profunda y entornos sintéticos. IABSE Congress, New Delhi 2023. <https://doi.org/10.2749/newdelhi.2023.0934>
- Souza, M. A. B. de, & Souza, A. (2021). Evaluación y pericia predial en patologías ocasionadas por infiltración. *Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Informática*, 9(1), 1-14.
- Starzyńska, M. B., Roussel, R., Jacoby, S., & Asadipour, A. (2022). Análisis basado en visión por computadora de edificios y entornos construidos: Una revisión sistemática de los enfoques actuales. *ACM Computing Surveys*. <https://doi.org/10.1145/3578552>
- Velásquez Zambrano, V., Guzmán Rodríguez, Á., Gómez, G. M., & Rosón Mesa, R. (2020). Una aproximación educativa al aparejo en los edificios históricos como elemento estructural y formal del patrimonio arquitectónico. <https://doi.org/10.20868/abe.2019.3.4234>
- Wang, J., Wu, Y., Narazaki, Y., Liu, H., & Spencer, B. F. (2024). Framework gráfico de gemelos digitales para inspecciones post-sísmicas asistidas por UAV. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. <https://doi.org/10.1002/tal.2127>
- Xu, Y., Li, Y., Zheng, X., & Zhang, Q. (2023). Evaluación de daños sísmicos en estructuras de concreto reforzado mediante visión por computadora y aprendizaje automático. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings13051258>
- Zhong, J., Fan, Y., Zhao, X., Zhou, Q., & Xu, Y. (2024). Segmentación de imágenes de daños estructurales con pocos datos de entrenamiento. *Smart Cities*. <https://doi.org/10.3390/smartcities7040074>
- Zhuang, Y., Chen, W., Jin, T., Chen, B., Zhang, H., & Zhang, W. (2022). Revisión de monitoreo de deformaciones estructurales basado en visión por computadora en entornos de campo. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s22103789>