

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO UNA HERRAMIENTA EN LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL: CASO DE APLICACIÓN

Molina, Ignacio M.^a, Nieva, Pablo M.^b, Adami, Agustín.^c

^aUniversidad Nacional de Córdoba – Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,
ignaciommolina@mi.unc.edu.ar

^bUniversidad Nacional de Córdoba – Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,
pablo.nieva@unc.edu.ar

^cUniversidad Nacional de Córdoba – Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales,
agustin.adami@unc.edu.ar

Palabras clave: Inteligencia artificial, Ingeniería estructural, CIRSOC

RESUMEN

En la actualidad el uso de la inteligencia artificial (IA) no solo está destinado a responder preguntas, sino que las herramientas disponibles ejecutan acciones de forma autónoma. Herramientas de uso gratuito como Claude, NotebookLM, Gemini, Perplexity pueden usarse para nuestro trabajo siendo las mismas de gran ayuda para comprender, ordenar la información e interpretar resultados. El objetivo de este trabajo es mostrar el uso de estas herramientas de IA en la práctica, es decir aplicadas al diseño y cálculo estructural de un proyecto en particular de mediana complejidad que mezcla hormigón armado, acero estructural y fundaciones especiales usando la normativa CIRSOC vigente. A partir de los resultados obtenidos, se muestra cómo la IA nos permite ahorrar fundamentalmente tiempo de búsqueda y ordenamiento de la información permitiendo hacer foco como profesional en el entendimiento, verificación y decisión. Usar la IA para moverse más rápido en terreno conocido antes de apoyarse en ella en territorio nuevo, nos brinda el criterio necesario para saber cuándo confiar y cuándo cuestionar.

ABSTRACT

Currently, the use of artificial intelligence (AI) is not only for answering questions, but the available tools can also perform actions autonomously. Free tools such as Claude, NotebookLM, Gemini, and Perplexity can be used for our work, and they are very helpful for understanding, organizing information, and interpreting results. The objective of this study is to demonstrate the use of these AI tools in practice, i.e., applied to the structural design and analysis of a specific project of medium complexity that combines reinforced concrete, structural steel, and special foundations using the current CIRSOC codes. Based on the results obtained, it shows how AI allows us to primarily save time in searching and organizing information, allowing us to focus as professionals on understanding, verification, and decision-making. Using AI to move faster on familiar ground before relying on it in new territory gives us the necessary criterion to know when to trust and when to question.

Organiza:

INTRODUCCIÓN

El diseño y cálculo estructural de un proyecto de mediana complejidad exige al ingeniero gestionar simultáneamente un volumen considerable de información: reglamentos nacionales como los CIRSOC 101, 102, 201, 301, 302 y 303, normativa sismorresistente INPRES-CIRSOC 103, estándares internacionales de referencia como los de AISC, AISI, ACI, entre otros, documentación técnica frecuentemente disponible solo en inglés, y el manejo de software de análisis estructural cuyos criterios internos frecuentemente se basan en normativas extranjeras que no siempre coinciden con la reglamentación local. Cuando además el proyecto involucra múltiples materiales y tipologías estructurales, la carga de trabajo asociada a la búsqueda, interpretación y articulación de toda esta información resulta significativa. En este contexto, las herramientas de inteligencia artificial basadas en modelos de lenguaje de gran escala LLMs (Large Language Models) ofrecen una posibilidad concreta: funcionar como un interlocutor técnico capaz de asistir al profesional en la navegación de normativa, la interpretación de resultados y la discusión de criterios de diseño.

A diferencia de las aplicaciones tradicionales de inteligencia artificial en ingeniería civil, que típicamente involucran redes neuronales entrenadas para resolver un problema específico, como la caracterización de fallas en pilotes mediante ensayos de integridad¹ o la predicción de propiedades mecánicas de materiales, los modelos de lenguaje actuales son herramientas de propósito general. No requieren entrenamiento especializado por parte del usuario ni conocimientos de programación. Herramientas como Claude, NotebookLM, Gemini y Perplexity se encuentran disponibles de forma gratuita y permiten al ingeniero interactuar mediante lenguaje natural, cargar documentos técnicos y obtener respuestas contextualizadas. Su utilidad no radica en reemplazar el cálculo estructural sino en reducir los tiempos de búsqueda, ordenamiento e interpretación de información, permitiendo que el profesional se concentre en las decisiones de ingeniería.

La literatura reciente sobre LLMs aplicados a ingeniería estructural crece rápidamente. Liu y colaboradores² demostraron que, si bien los LLMs exhiben una comprensión cualitativa razonable de la mecánica estructural, carecen de la confiabilidad cuantitativa necesaria para el cálculo directo, aunque al reformular el problema como generación de código ejecutable mediante un agente especializado, la precisión supera el 99%. En el ámbito del chequeo normativo, se han presentado integraciones de LLMs con modelos BIM (Building Information Modeling) para verificación semiautomatizada de códigos de edificación³. En Latinoamérica, Montúfar⁴ comparó el desempeño de ChatGPT-4o, Gemini 1.5 Pro y Claude 3.5 Sonnet en el diseño de cimentaciones, constituyendo el antecedente regional publicado más cercano al presente trabajo.

El objetivo de este trabajo es documentar la experiencia de aplicación de herramientas de IA durante el diseño y cálculo estructural de un gimnasio de dos plantas en Colonia Tirollesa, provincia de Córdoba. Se trata de un proyecto de mediana complejidad con estructura mixta que combina hormigón armado, acero estructural y fundaciones especiales, diseñado integralmente bajo normativa CIRSOC vigente y analizado con el software RAM Elements. A través de casos concretos de aplicación se muestra en qué etapas del proyecto la IA resultó una herramienta efectiva, dónde sus limitaciones requirieron la intervención directa del ingeniero, y qué nivel de conocimiento previo del usuario condicionó la calidad del resultado obtenido. Se pudo observar como la IA funciona como un interlocutor de razonamiento técnico válido cuya efectividad escala con el conocimiento previo del ingeniero que la utiliza.

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en una estructura de dos plantas destinada a un gimnasio, ubicada en la localidad de Colonia Tirollesa, provincia de Córdoba. Fue desarrollado en el marco de una Práctica Supervisada de la carrera de Ingeniería Civil en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. La premisa de diseño fue mantener la planta libre sin columnas intermedias, salvando 12 metros de luz mediante vigas reticuladas metálicas apoyadas sobre columnas de hormigón armado. La altura total de la estructura es de 8,27 m y el entrepiso se ubica a 4 m de altura.

El sistema estructural combina los siguientes subsistemas: columnas y vigas de hormigón armado (H-20, acero ADN 420); vigas reticuladas tipo Warren modificado con montantes, conformadas por perfiles tubulares de acero (F-24), tanto para la cubierta de techo como para el soporte del entrepiso; un entrepiso de losa colaborante steel deck; correas de perfil C conformado en frío (acero F-24) para cubierta y entrepiso donde se asienta la losa colaborante; mampostería portante de bloques cerámicos con encadenados (modelada en el análisis mediante el método de la biela equivalente en RAM Elements); y fundaciones resueltas con pilotes preexcavados y hormigonados in situ con punta ensanchada, vinculados mediante vigas de fundación.

El diseño se realizó conforme a los reglamentos CIRSOC vigentes. Las acciones gravitatorias se determinaron según CIRSOC 101, la acción del viento según CIRSOC 102 y la acción sísmica según INPRES-CIRSOC 103 en sus partes I, II y III. Los elementos de hormigón armado se diseñaron conforme a CIRSOC 201 y los elementos de acero estructural según CIRSOC 301 y CIRSOC 302. Para la verificación de correas conformadas en frío se aplicó el método de diseño simplificado propuesto por Belcaro, Orlor y Donini⁵, basado en el reglamento CIRSOC 303. La

verificación a vibraciones del entrepiso se realizó según el procedimiento establecido en el AISC Steel Design Guide 11⁶. La capacidad lateral de los pilotes se evaluó mediante el método de Broms, y el momento máximo se determinó a través de un modelo de Winkler discretizado.

En la Figura 1 se presenta el corte transversal de la estructura, del cual se identifican las tipologías de vigas reticuladas adoptadas, su geometría y las alturas definidas para cada nivel. En la Figura 2 se muestra el modelo tridimensional de la estructura en RAM Elements con todos los materiales y secciones asignados.

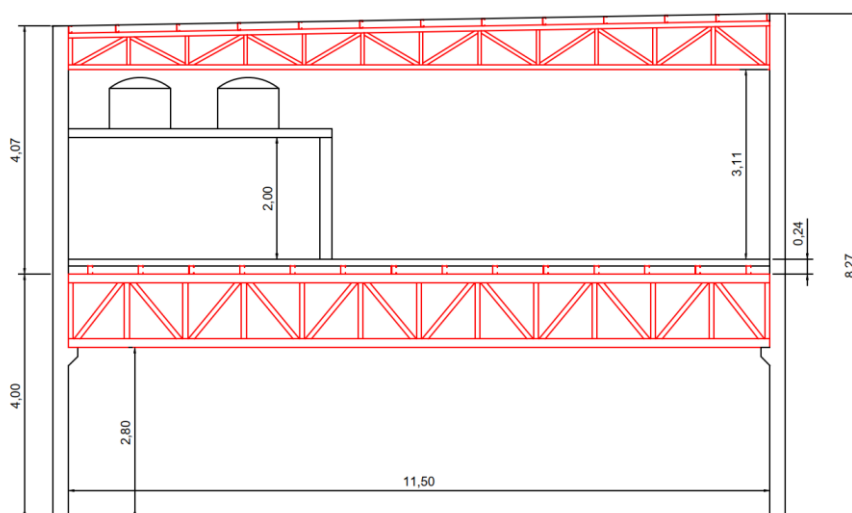


Figura 1. Corte transversal de la estructura

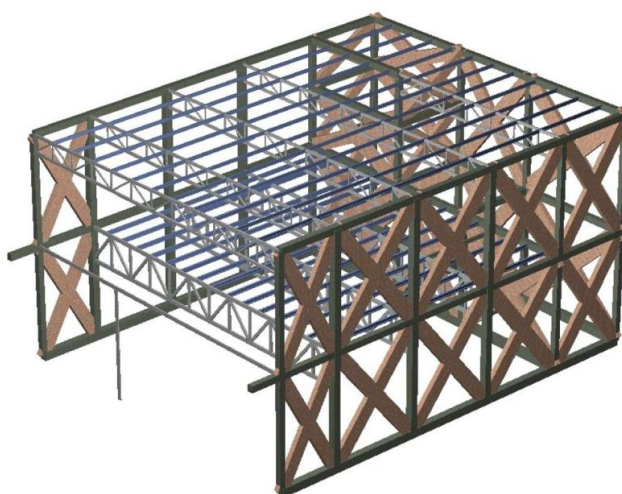


Figura 2. Modelo 3D de la estructura en RAM Elements

El modelado estructural se realizó íntegramente en RAM Elements, complementado

con verificaciones en RAM Concrete Column para las columnas de hormigón, RAM Connection para uniones soldadas, PROFIS Engineering para los anclajes al hormigón y la planilla de cálculo CIRSOC-FLEX para diagramas de interacción. El software RAM se utilizó mediante licencias de uso educativo; PROFIS Engineering en su versión de prueba gratuita. Las herramientas de inteligencia artificial empleadas corresponden a versiones de acceso libre y gratuito.

HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL UTILIZADAS

Las herramientas de IA se incorporaron al flujo de trabajo como asistentes en tareas de búsqueda, interpretación, redacción y discusión técnica. No se utilizaron para generar cálculos ni para reemplazar ninguna verificación normativa. A continuación, se describe brevemente el funcionamiento de cada herramienta y el rol que cumplió en el proyecto.

Claude fue la herramienta principal. Este modelo de lenguaje permite crear “proyectos”, que son espacios de trabajo donde el usuario carga documentos de referencia, en este caso los reglamentos CIRSOC pertinentes y la documentación del proyecto, de modo que todas las respuestas quedan enmarcadas en ese material. Esto permite mantener conversaciones técnicas sostenidas donde el modelo tiene presente la normativa aplicable sin necesidad de repetirla en cada consulta. Su uso abarcó la discusión de criterios de diseño, la interpretación de resultados del software y la interpretación de documentación extranjera, particularmente del AISC Design Guide 11 para la verificación a vibraciones del entrepiso. Además, se utilizó como asistente de consulta para el manejo del software RAM Elements: se cargaron en un proyecto dedicado los manuales y tutoriales del programa, lo que permitió resolver dudas sobre configuraciones y procedimientos de modelado directamente a través del chat. En la Figura 3 se muestra la interfaz de un proyecto contextualizado en Claude, donde se observan los reglamentos CIRSOC y la documentación de referencia cargados como archivos del proyecto.

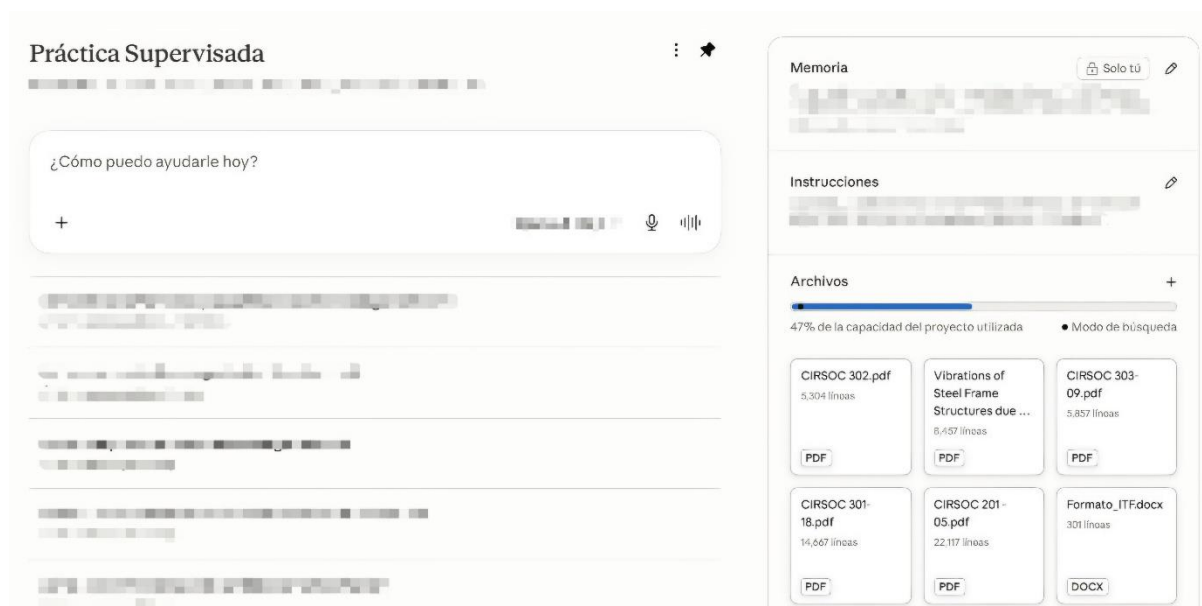


Figura 3. Proyecto contextualizado en Claude con la normativa CIRSOC y documentación de referencia

NotebookLM es una herramienta que opera sobre un corpus cerrado de documentos definidos por el usuario. A diferencia de un modelo de lenguaje general, NotebookLM solamente genera respuestas a partir del material cargado y proporciona las citas específicas de donde extrae la información. Se cargaron los reglamentos CIRSOC y bibliografía de referencia, y se utilizó para localizar artículos específicos, comparar prescripciones entre distintos reglamentos y generar resúmenes orientados a consultas puntuales. En la Figura 4 se observa el corpus de documentos cargado en NotebookLM para el análisis del AISC Design Guide 11. La herramienta acota sus respuestas exclusivamente a ese material y proporciona las citas a las secciones y ecuaciones de donde extrae cada afirmación.



Figura 4. Corpus de documentos cargado en NotebookLM para el análisis del AISC Design Guide 11

Perplexity funciona como un buscador que combina la búsqueda en internet con un modelo de lenguaje: ante una consulta, realiza la búsqueda, sintetiza la información encontrada y presenta las fuentes de donde proviene cada afirmación. Se utilizó para localizar bibliografía, antecedentes de métodos de cálculo y documentación complementaria no disponible en los reglamentos, particularmente trabajos y referencias sobre el método de Broms y el modelo de Winkler.

Gemini es un modelo de lenguaje de propósito general que se empleó de forma complementaria para la discusión de resultados. Resultó útil para contrastar interpretaciones obtenidas en Claude con un segundo modelo, particularmente en la verificación a vibraciones del entrepiso donde se requería interpretar procedimientos del AISC Design Guide 11.

CASOS DE APLICACIÓN

CASO 1: VERIFICACIÓN A VIBRACIONES DEL ENTREPISO

La verificación a vibraciones del entrepiso surgió por recomendación del tutor del proyecto, quien advirtió que un entrepiso de losa colaborante sobre reticulados metálicos con 12 metros de luz podía resultar susceptible a vibraciones inducidas por el uso especial como gimnasio en este proyecto, aun cuando la estructura fuera segura desde el punto de vista resistente.

La normativa CIRSOC no establece un procedimiento específico para la verificación

de vibraciones de entrepisos inducidas por actividad humana, por lo que se recurrió al AISC Steel Design Guide 11⁶, un documento de referencia específico para esta problemática en estructuras de acero.

El primer paso fue una lectura general del documento orientada a comprender la estructura del procedimiento, identificar qué capítulos aplicaban al caso de estudio y reconocer las variables involucradas. No se trató de una lectura exhaustiva del documento completo sino de una lectura suficiente para entender la lógica del método y el tipo de problema que se estaba enfrentando. A partir de esa lectura se identificó que el procedimiento requería calcular las inercias del reticulado y de las correas en acción compuesta con la losa, obtener las deflexiones bajo cargas de servicio, determinar la frecuencia natural del sistema y verificar que la aceleración resultante no superara el límite de confort para el destino del edificio.

Con esa comprensión general, se cargó el Design Guide 11 en NotebookLM para acotar el alcance de la lectura detallada. La herramienta se utilizó para generar un procedimiento paso a paso aplicable al caso particular, con referencias explícitas a las secciones, ecuaciones y tablas de la guía. Esto permitió reducir un documento extenso a una secuencia concreta de pasos con las ecuaciones a aplicar, los datos de entrada necesarios y los puntos donde la guía exigía correcciones específicas. Las referencias proporcionadas por NotebookLM fueron verificadas directamente en el documento original; la lectura detallada se concentró entonces en los artículos y tablas que efectivamente intervenían en el cálculo, no en la totalidad del texto. El procedimiento paso a paso resultante se muestra en la Figura 5, donde se observan las referencias explícitas a las secciones y ecuaciones del Design Guide 11 que la herramienta proporcionó.

Etapas de Análisis	Concepto de Diseño	Referencia
I. Rigidez Dinámica	Módulo de elasticidad del hormigón aumentado un 35%.	Pág. 20, Sección 3.2
II. Frecuencia Natural	Cálculo de la frecuencia natural del sistema mediante deflexiones (relación de Dunkerley)	Pág. 19, Ecuación 3-3
III. Excitación Rítmica	Parámetros de carga y coeficientes dinámicos para gimnasios	Pág. 58, Tabla 5-2
IV. Respuesta de Piso	Cálculo de la aceleración pico por armónico y combinación total.	Pág. 57, Ecuaciones 5-1 y 5-2
V. Estado Límite	Criterio de aceptación para confort humano en actividades rítmicas	Pág. 58, Tabla 5-1

Figura 5. Procedimiento paso a paso para la verificación de vibraciones generado por NotebookLM a partir del AISC Design Guide 11

Posteriormente se trabajó el mismo procedimiento en Claude, dentro de un proyecto contextualizado donde se habían cargado la guía y la documentación del proyecto. El objetivo fue profundizar la discusión técnica de cada paso y detectar aspectos que la secuencia anterior daba por supuestos. El Design Guide 11 emplea el momento de inercia de los cordones del reticulado como dato de entrada de su ecuación de corrección por corte, pero no desarrolla su cálculo; la composición de esa inercia mediante el teorema de Steiner aplicado a los cordones quedó a cargo del proyectista. Otros puntos que requirieron atención, estos sí prescriptos por la guía, fueron: la corrección por deformación de corte de la inercia del reticulado, aplicable a reticulados con relación luz/altura mayor a 12; la sección transformada de las correas en acción compuesta con la losa, con un módulo de elasticidad dinámico del hormigón aumentado en un 35% respecto del estático; y la adopción de cargas de servicio reducidas para el análisis de vibraciones, menores que las de diseño resistente.

Los cálculos fueron realizados íntegramente por el proyectista. La frecuencia natural obtenida mediante la relación de Dunkerley fue de 3,9 Hz, valor que se encuentra dentro del rango del segundo armónico de la caminata humana (3,2 a 4,4 Hz), lo que confirmó la necesidad de verificar la aceleración del entrepiso. La aceleración calculada resultó de 0,56% g. La interpretación de este valor requirió una decisión de ingeniería: la guía establece distintos límites de aceptabilidad según el destino del edificio y el tipo de actividad, presentados en la Figura 6. Dado que el destino es un

gimnasio orientado a musculación y máquinas de ejercicio, se adoptó como límite el extremo inferior del rango correspondiente, 1,5% g, por criterio conservador. La aceleración obtenida resultó holgadamente inferior a ese límite, por lo que el entrepiso verifica frente a vibraciones.

El aporte principal de la IA en este caso fue la reducción del tiempo de trabajo. Sin estas herramientas, interpretar un documento técnico extranjero de esta extensión, desglosar el procedimiento aplicable al caso particular, resolver las conversiones dimensionales y verificar la coherencia de cada paso habría demandado un tiempo considerablemente mayor y múltiples consultas con los tutores del proyecto. Con la asistencia de NotebookLM y Claude, la verificación completa, desde la lectura inicial hasta la obtención y discusión de los resultados, se completó en pocos días. Es importante subrayar que las herramientas no realizaron los cálculos ni tomaron la decisión sobre el límite de aceptabilidad: lo que hicieron fue acotar la lectura necesaria, estructurar el procedimiento y funcionar como interlocutores técnicos para validar la interpretación. El proyectista leyó, calculó y decidió; la IA le permitió hacerlo en menos tiempo y con mayor foco. Cabe señalar que el procedimiento, una vez estructurado, resulta susceptible de ser traducido a un código ejecutable para su sistematización, lo que concuerda con lo reportado por Liu y colaboradores², quienes señalan que la generación de código constituye la vía más confiable para el cálculo cuantitativo asistido por estos modelos.

Table 5-1. Recommended Tolerance Acceleration Limits for Rhythmic Activities in Buildings	
Affected Occupancy	Tolerance Acceleration Limit, a_o, %g
Office or residential	0.5
Dining	1.5–2.5
Weightlifting	1.5–2.5
Rhythmic activity only	4–7

Figura 6. Límites de aceleración recomendados para actividades rítmicas en edificios (AISC, 2016)

CASO 2: CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO EN RAM ELEMENTS

El modelado de las vigas reticuladas metálicas en RAM Elements presentó una dificultad que no era de naturaleza conceptual sino operativa: los resultados del diseño automático del programa no coincidían con las verificaciones manuales realizadas en planilla de cálculo. Las secciones que verificaban correctamente en el cálculo manual aparecían con advertencias o directamente rechazadas en el software. El problema

resultaba desconcertante porque los datos de entrada (secciones, materiales, cargas) eran los mismos en ambos casos.

Cabe señalar que el proyectista se encontraba dando sus primeros pasos en RAM Elements. Existía la orientación general del tutor respecto de que el programa requería una configuración cuidadosa de ciertos parámetros de diseño, pero el procedimiento específico para realizarla no era conocido. La documentación del software, compuesta por manuales extensos y tutoriales, representaba una fuente de información válida pero cuya consulta demandaba un tiempo considerable para resolver una cuestión puntual.

Para abordar esta situación se recurrió a un proyecto contextualizado en Claude donde se habían cargado los manuales del software, tutoriales de configuración y la documentación del proyecto, incluyendo la geometría de los reticulados y las secciones adoptadas. Esto permitió plantear el problema con su contexto completo: las secciones utilizadas, los resultados de la planilla manual, las advertencias del programa y las capturas de la tabla de parámetros de diseño de acero del software.

El diagnóstico fue directo. Los campos de longitud de pandeo (L_{33} y L_{22}) y los factores de longitud efectiva (K_{33} y K_{22}) se encontraban en cero, lo que indicaba al programa que debía tomar la longitud total del miembro modelado como longitud de pandeo. Dado que los cordones del reticulado estaban modelados como un único miembro continuo de 12 metros, RAM calculaba la esbeltez con esa longitud, mientras que la verificación manual utilizaba correctamente la distancia entre nodos del cordón, aproximadamente 1 metro, reconociendo que las diagonales y montantes proveen arriostramiento lateral entre panel y panel. La discrepancia entre ambos resultados quedaba explicada: no era un error de cálculo sino una diferencia en la longitud de pandeo adoptada, como se resume en la Figura 7.

La solución consistió en ingresar manualmente las longitudes de pandeo en la tabla de parámetros de diseño, asignando a L_{33} y L_{22} la separación entre nodos del cordón y estableciendo K_{33} y K_{22} en 1, como se muestra en la Figura 8. Una vez aplicada la configuración se ejecutó nuevamente el diseño y se verificó que la relación kL/r reportada por el software coincidiera con el valor obtenido en la planilla manual. La coincidencia confirmó que el modelo y el cálculo manual estaban operando con los mismos criterios.

Etapas	Contenido
Planteo del proyectista	Las secciones verificaban correctamente en la planilla de cálculo manual, pero aparecían rechazadas en RAM Elements con los mismos datos de entrada. Se aportó como contexto la geometría del reticulado, los parámetros de compresión de la planilla y la tabla de parámetros de diseño de acero del software.
Diagnóstico	Los campos de longitud de pandeo (L33, L22) y de longitud efectiva (K33, K22) en cero llevaban a RAM a adoptar la longitud total del miembro modelado (12 m) como longitud de pandeo. La planilla utilizaba la separación entre nodos del cordón (1 m), reconociendo el arriostramiento lateral que proveen diagonales y montantes entre panel y panel. La discrepancia correspondía a la longitud de pandeo adoptada, no a un error de cálculo.
Repregunta de la herramienta	Antes de indicar los valores, la herramienta solicitó precisar qué miembros correspondían a cordones y cuáles a diagonales o montantes, y si el cordón estaba modelado como un miembro continuo o segmentado entre nodos. La definición de cada miembro quedó a cargo del proyectista.
Solución propuesta	Ingresar en L33 y L22 la separación entre nodos del cordón y establecer K33 y K22 en 1; alternatively, segmentar el cordón entre nodos. Verificar luego que la relación kL/r reportada por el software coincidiera con el valor obtenido manualmente.

Figura 7. Diagnóstico generado por la IA sobre la discrepancia entre la verificación manual y el diseño automático en RAM Elements.

La ventaja del uso de la IA en este caso fue la inmediatez de la respuesta. Lo que podría haber demandado una jornada completa de búsqueda en manuales y tutoriales del software se resolvió en aproximadamente una hora, con respuestas concretas, verificables y directamente aplicables al problema planteado. El proyecto contextualizado con los manuales del programa permitió que las respuestas no fueran genéricas sino específicas al entorno de trabajo, indicando los nombres exactos de los campos a modificar y los valores a ingresar. No se trató de un reemplazo del criterio

del ingeniero, la decisión de qué longitud de pandeo corresponde a cada miembro sigue siendo una decisión profesional basada en el entendimiento del comportamiento estructural, sino de una asistencia eficiente para traducir ese criterio a la configuración del software.

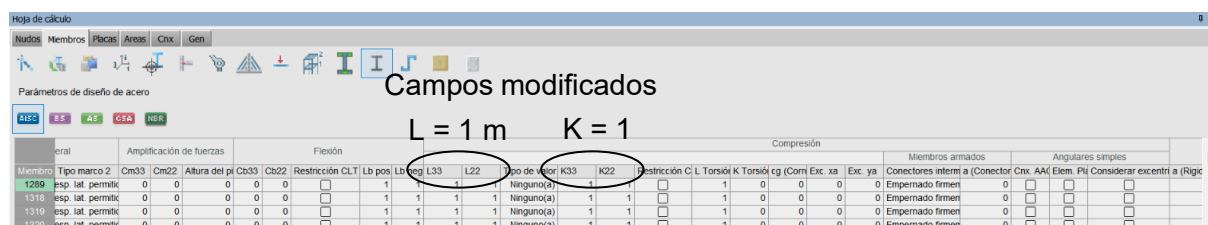


Figura 8. Parámetros de diseño de elementos metálicos con las longitudes de pandeo ya configuradas. Extraído de RAM Elements

CASO 3: PILOTES, MÉTODO DE BROMS Y MODELO DE WINKLER

El sistema de fundaciones del proyecto consiste en pilotes preexcavados y hormigonados in situ con punta ensanchada. Además de la verificación a carga vertical, los pilotes debían verificarse frente a las cargas horizontales transmitidas por la estructura bajo acciones de viento y sismo. Esta verificación requirió abordar dos problemas complementarios: la capacidad lateral del sistema suelo-pilote y la resistencia de la sección del pilote sometida a flexocompresión. El primero se resolvió mediante el método de Broms y el segundo mediante un modelo de Winkler discretizado en RAM Elements.

Para la aplicación del método de Broms se partió de bibliografía disponible desde la formación de grado (apuntes de cátedra y notas de clase sobre fundaciones profundas) complementada con una búsqueda de referencias a través de Perplexity. La herramienta orientó la búsqueda hacia material que desarrollaba el procedimiento de Broms de forma aplicada a distintos tipos de suelo y condiciones de cabeza del pilote, como el trabajo de Salamanca Medina⁷, lo que facilitó la estructuración del cálculo.

Sobre esa base se trabajó en Claude para ir desglosando el método: identificar los parámetros del suelo necesarios, definir las condiciones de contorno del pilote, clasificar el pilote como largo o corto según la longitud característica, y obtener la capacidad lateral última con su correspondiente factor de seguridad. La IA funcionó, nuevamente, como un interlocutor para articular la bibliografía de clase con la referencia encontrada, permitiendo avanzar en la comprensión y aplicación del método sin necesidad de recurrir a consultas externas adicionales.

El modelo de Winkler consiste en representar al pilote como una viga sobre fundación

elástica, donde el suelo se modela mediante resortes distribuidos a lo largo del fuste. Previo a la implementación del modelo, se realizó una investigación a través de Perplexity orientada a reunir la información necesaria para su construcción: criterios de discretización, formulación de la rigidez de los resortes, condiciones de contorno aplicables y consideraciones sobre el comportamiento del suelo frente a cargas laterales. Esa información fue procesada por el proyectista y cargada como contexto en un proyecto de Claude junto con los datos del pilote y las propiedades del suelo del estudio geotécnico, de modo que la asistencia posterior estuviera enmarcada en las condiciones reales del problema. A partir de allí se trabajó la implementación en RAM Elements: se discretizó el pilote en segmentos de 0,50 m, generando nodos intermedios a cada uno de los cuales se les asignó un resorte horizontal con rigidez calculada como el producto del coeficiente de balasto del suelo (obtenido del estudio de suelos realizado en el lote), el diámetro del pilote y la longitud tributaria del nodo. Los resortes se configuraron para trabajar únicamente a compresión, representando el hecho de que el suelo puede resistir compresión, pero no tracción. Las condiciones de contorno se definieron con el nodo de cabeza restringido rotacionalmente, representando la vinculación con la viga de fundación, y el nodo de base empotrado. En cada paso se verificó que el modelo tuviera sentido físico, contrastando los resultados parciales con lo esperable según la teoría. La Figura 9 presenta el modelo de Winkler implementado en el software junto con los resultados obtenidos del análisis.

Una vez ejecutado el análisis, RAM Elements proporcionó directamente los diagramas de momento flector, corte y axial a lo largo del pilote para cada combinación de carga. El momento máximo obtenido se utilizó junto con el axial para verificar la sección del pilote mediante un diagrama de interacción de la sección circular de hormigón armado, de forma análoga a la verificación realizada para las columnas del proyecto.

Este caso muestra la integración de varias herramientas de IA en un mismo problema. Perplexity cumplió el rol de buscador técnico, localizando una referencia bibliográfica que resultó central para el desarrollo del cálculo. Claude funcionó como interlocutor en dos niveles: a nivel conceptual, ayudando a articular la bibliografía y a distinguir con claridad la verificación geotécnica de la estructural; y a nivel operativo, guiando la construcción del modelo de Winkler en RAM Elements paso a paso. La pregunta sobre la flexocompresión del pilote, que desencadenó la necesidad del modelo de Winkler, fue formulada por el proyectista a partir de su comprensión del comportamiento estructural; la IA no la anticipó. Este es un ejemplo concreto de cómo el conocimiento previo del ingeniero condiciona la utilidad de la herramienta: sin esa pregunta, la verificación habría quedado incompleta independientemente de la capacidad del modelo de lenguaje.

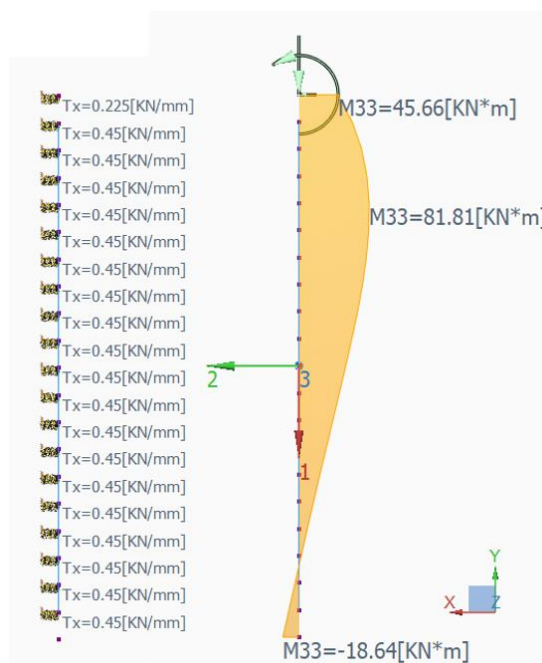


Figura 9. Diseño y resultados del método de Winkler. Extraído de RAM Elements

DISCUSIONES

Los tres casos presentados, si bien abordan problemas distintos, permiten identificar patrones comunes en el uso de la IA durante el proceso de diseño estructural.

En primer lugar, en ninguno de los tres casos la IA funcionó como una herramienta de cálculo. Su rol fue consistentemente el de un interlocutor técnico: estructuró procedimientos, tradujo e interpretó documentación, diagnosticó configuraciones de software y articuló bibliografía de distintas fuentes. Los cálculos fueron realizados íntegramente por el proyectista y los resultados fueron verificados contra el documento de referencia, contra la planilla manual o contra el comportamiento físico esperado. Esta observación es coherente con lo reportado en la literatura: Liu y colaboradores² demostraron que los LLMs exhiben comprensión cualitativa razonable de la mecánica estructural, pero carecen de confiabilidad cuantitativa para el cálculo directo.

En segundo lugar, la efectividad de las herramientas resultó condicionada al conocimiento previo del proyectista. En la configuración de RAM Elements (Caso 2), el proyectista comprendía el concepto de longitud de pandeo y sabía que la sección debía verificar; lo que desconocía era la operación específica del software, y la IA resolvió esa brecha en minutos. En la verificación a vibraciones (Caso 1), el proyectista contaba con formación en dinámica estructural pero nunca había aplicado el procedimiento del Design Guide 11; la IA ayudó a acotar la lectura y estructurar el procedimiento, pero la comprensión, el cálculo y la decisión sobre el límite de

aceptabilidad corrieron por cuenta del ingeniero. En el caso de los pilotes (Caso 3), la pregunta que desencadenó la construcción del modelo de Winkler fue formulada por el proyectista a partir de su entendimiento del comportamiento estructural. La IA no anticipó esa necesidad; respondió a ella. Sin esa pregunta, la verificación habría quedado incompleta independientemente de la capacidad del modelo de lenguaje.

En tercer lugar, la reducción de tiempos de trabajo fue significativa y tuvo un efecto que va más allá de la eficiencia: el tiempo que se dejó de invertir en búsqueda, interpretación de documentación y resolución de problemas operativos del software se redirigió hacia un mayor nivel de detalle en el proyecto. Verificaciones que podrían haberse resuelto con criterios estándar por limitaciones de tiempo, como la verificación a vibraciones del entrepiso o la construcción del modelo de Winkler para los pilotes, pudieron desarrollarse con la profundidad que el problema requería. Las consultas con los tutores del proyecto no fueron eliminadas, pero sí resultaron más eficientes: el proyectista llegaba a cada consulta con el problema mejor formulado y con una propuesta de solución ya elaborada.

En cuarto lugar, la contextualización de las herramientas fue determinante en la calidad de las respuestas. Los proyectos de Claude con normativa y manuales cargados, NotebookLM operando sobre un corpus cerrado de documentos, Perplexity realizando búsquedas bibliográficas acotadas. En cada caso la herramienta funcionó mejor cuando se le definió un alcance preciso, especificando los materiales que se utilizaran, las técnicas constructivas aplicadas en la ciudad de Córdoba y los reglamentos a verificar para una estructura metálica o de hormigón en este caso. El uso genérico de un modelo de lenguaje, sin documentación de referencia y sin el contexto del problema, produce respuestas genéricas que no resultan útiles para la toma de decisiones en ingeniería estructural.

Por último, en la práctica profesional es frecuente que proyectos de características similares se resuelvan con criterios y configuraciones estandarizadas, no necesariamente porque sean óptimos sino porque el tiempo disponible no permite profundizar en cada caso particular. Las herramientas de IA tienen el potencial de modificar esa dinámica: al reducir el tiempo dedicado a tareas repetitivas de búsqueda y procesamiento de información, liberan al profesional para concentrarse en los aspectos donde su criterio agrega mayor valor: la evaluación de alternativas, la optimización de secciones, el análisis de detalles constructivos y la toma de decisiones fundamentadas. Esto puede traducirse no solo en proyectos técnicamente más completos sino también en mejoras económicas derivadas de soluciones mejor ajustadas a cada problema particular. En los casos aquí presentados la IA intervino sobre el procedimiento y no sobre la optimización del resultado de diseño, aplicación que queda planteada como línea de continuidad para trabajos futuros.

CONCLUSIONES

El presente trabajo documentó la experiencia de aplicación de herramientas de IA durante el diseño y cálculo estructural de un gimnasio de dos plantas, desarrollado en el marco de una Práctica Supervisada en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. A partir de los casos presentados se concluye lo siguiente.

- La IA constituyó una herramienta de apoyo efectiva para la navegación normativa, la interpretación de documentación técnica en idioma extranjero, la configuración de software de análisis estructural y la articulación de bibliografía de distintas fuentes.
- La efectividad de las herramientas estuvo condicionada a dos factores: el conocimiento previo del proyectista sobre los temas abordados y la contextualización de las herramientas con material técnico de referencia. Cuanto mayor fue el dominio previo del tema, más precisa y eficiente resultó la interacción con la IA.
- El ahorro de tiempo fue significativo y permitió llevar el proyecto a un nivel de detalle superior al que hubiera sido posible sin estas herramientas, incluyendo verificaciones que exceden el alcance habitual de la normativa argentina, como la verificación a vibraciones del entrepiso.
- En ningún caso la IA reemplazó el cálculo estructural ni la toma de decisiones de ingeniería. Los cálculos, las verificaciones y las decisiones de diseño fueron responsabilidad del proyectista en todas las etapas.
- El criterio profesional constituyó la instancia final de validación. La IA funciona como un interlocutor de razonamiento técnico cuya utilidad depende de que el ingeniero sepa qué preguntar, pueda evaluar la respuesta y mantenga la responsabilidad sobre el resultado.

REFERENCIAS

1. Peker, U., Bianchi, L., & Jouglaard, C. (2021). *Caracterización de las dimensiones de fallas en pilotes mediante redes neuronales*. Trabajo presentado en las 26° Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural (Edición Virtual). Asociación de Ingenieros Estructurales, Buenos Aires, Argentina.
2. Liu, J., Geng, Z., Cao, Z., Cheng, Y., Bocchini, P., & Cheng, M. (2026). *A Large Language Model-Empowered Agent for Reliable and Robust Structural Analysis. Structure and Infrastructure Engineering*. DOI: 10.1080/15732479.2026.2630123.
3. Madireddy, S., Gao, L., Zhang, Y., Bocchini, P. & Cheng, M. (2025). Large

Language Model-Driven Code Compliance Checking in Building Information Modeling. *Electronics*, 14(11), 2146.

4. Montúfar, G. (2025). Revolución en el Diseño Estructural: IA vs. Métodos Tradicionales en Diseño de Cimentaciones. *Investigación y Pensamiento Crítico*, 13(1), 12–21.
5. Belcaro, F. M., Orlor, R., & Donini, H. J. (2022). Método de diseño simplificado en el dimensionado de correas para cubiertas metálicas con perfiles C conformados en frío según CIRSOC 303-09. En *XXVII Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural*. Asociación de Ingenieros Estructurales, Rosario, Argentina.
6. American Institute of Steel Construction. (2016). *Steel Design Guide 11: Vibrations of Steel-Framed Structural Systems Due to Human Activity* (2nd ed.). AISC.
7. Salamanca Medina, E. L. (2019). *Resumen e instrucciones para el cálculo geotécnico de carga lateral última en pilotes por el método de Broms*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.