UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Automatización de memorias de cálculo estructural en CYPE:

Desarrollo de una herramienta para generación automática de reportes y anexos para presentación en curaduría

Juan Camilo Castañeda Ospina

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Civil

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria o Práctica Empresarial

Asesor

Wilber Humberto Vélez Gómez, Ingeniero civil, asesor interno.

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín, Antioquia, Colombia

2026

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Cita	(Castañeda Ospina, 2026)
Referencia **Estilo APA 7 (2020)**	Castañeda Ospina, J.C (225). *Automatización de memorias de cálculo estructural en CYPE: Desarrollo de una herramienta para generación automática de reportes y anexos para presentación en curaduría* [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

creative commons CC BY NC SA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Vicerrectoría de Docencia

Sistema de Bibliotecas

Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: http://bibliotecadigital.udea.edu.co

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Este trabajo de grado está dedicado a Dios, por brindarme la fortaleza, la constancia y la claridad necesarias para culminar esta etapa de mi formación profesional. Asimismo, lo dedico a mi familia, cuyo apoyo permanente, comprensión y acompañamiento han sido fundamentales a lo largo de este proceso académico y personal.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad de Antioquia por la formación académica y humana recibida a lo largo del programa de Ingeniería Civil, así como por proporcionar los espacios y recursos necesarios para el desarrollo de este trabajo de grado. De igual manera, expreso mi gratitud a los docentes y al acompañamiento institucional que contribuyeron al fortalecimiento de mis competencias profesionales durante el proceso de formación y la práctica empresarial.

Tabla de contenido

Resumen 7

Abstract 8

1. Introducción 9

2. Objetivos 11

2.1 Objetivo general 11

2.2 Objetivos específicos 11

3. Marco teórico 12

4. Metodología 14

5. Análisis de resultados 20

6. Conclusiones y recomendaciones 23

Referencias 25

Anexos 26

Lista de figuras

Figura 1
Estructura general de una memoria de cálculo estructural y ubicación de los anexos técnicos utilizados en el proceso de revisión por curaduría. 15

Figura 2
Vista general del agente de automatización implementado como flujo de trabajo en la plataforma n8n. 18

Figura 3
Prompt empleado en el modelo LLM 19

Figura 4
Etapa final del flujo del agente correspondiente a la generación y consolidación del documento PDF final. 20

Figura 5
Póster presentación jornadas académicas. 28

Resumen

El presente trabajo de grado, es desarrollado en el marco de una práctica empresarial en ingeniería civil, se centra en la automatización del proceso de elaboración de anexos de memorias de cálculo estructural, con el fin de optimizar la gestión documental asociada al diseño estructural. En el ámbito profesional, la preparación de anexos representa una actividad que facilita la revisión técnica por parte de entes de control, permitiendo una mejor comprensión de cómo los programas de análisis estructural que ejecutan los cálculos y generan los resultados que fundamentan el diseño. No obstante, este proceso se realiza tradicionalmente de manera manual, lo que conlleva una inversión de tiempo y una mayor susceptibilidad a errores de edición.

A partir de un análisis del proceso documental tradicional, se desarrolló un agente de automatización basado en flujos de trabajo determinísticos, que integra herramientas de manipulación de documentos y modelos de lenguaje para el procesamiento textual. El desarrollo del agente se llevó a cabo de manera iterativa, evaluando diversas alternativas tecnológicas y documentando los ajustes y decisiones implementadas mediante una bitácora técnica. La solución implementada permitió la automatización de la identificación, extracción y consolidación de anexos, preservando la integridad del contenido técnico generado por el software de análisis estructural.

La aplicación del agente durante la práctica empresarial demostró una reducción aproximada de dos horas en el tiempo dedicado a la preparación de anexos, así como una disminución en los errores asociados a la manipulación manual de documentos. Los resultados obtenidos confirman que la automatización puede contribuir a la eficiencia del proceso profesional, sin menoscabar el criterio ni la responsabilidad del ingeniero civil.

*Palabras clave***:** Automatización, memorias de cálculo, CYPE, LLM, diseño estructural, informes técnicos.

Abstract

This undergraduate thesis, developed within the framework of a professional internship in civil engineering, focuses on the automation of the process for preparing appendices of structural calculation reports, with the aim of optimizing the document management associated with structural design. In professional practice, the preparation of appendices facilitates the technical review carried out by regulatory authorities, as it allows a clearer understanding of how structural analysis software performs calculations and generates the results that support the design. However, this process is traditionally performed manually, requiring a considerable investment of time and being more prone to editing errors.

Based on an analysis of the traditional document workflow, an automation agent was developed using deterministic workflows, integrating document manipulation tools and language models for textual processing. The development of the agent followed an iterative approach, in which different technological alternatives were evaluated and the adjustments and decisions made were systematically documented through a technical logbook. The implemented solution enabled the automated identification, extraction, and consolidation of appendices, while preserving the integrity of the technical content generated by the structural analysis software.

The application of the agent during the professional internship demonstrated an approximate reduction of two hours in the time required to prepare appendices, as well as a decrease in errors associated with manual document handling. The results confirm that document automation can significantly improve the efficiency of professional workflows without undermining the professional judgment or technical responsibility of the civil engineer.

*Keywords***:** Automation, calculation memories, CYPE, LLM, structural design, technical reports.

1. Introducción

En la práctica profesional de la ingeniería civil, en su componente estructural no se limita al análisis y dimensionamiento de los elementos resistentes, sino que incluye la elaboración de documentación que permita verificar, justificar y comunicar adecuadamente las decisiones adoptadas durante el proceso de diseño de un proyecto. Dentro de esta documentación, las memorias de cálculo se constituyen como un componente inherente, ya que en estas se integran los modelos de análisis, las hipótesis de diseño y los resultados obtenidos, respaldando la trazabilidad técnica del proyecto y su cumplimiento con los requisitos de la normativa vigente.

En los proyectos estructurales donde se utilizan programas especializados de análisis y diseño asistido por computadora, la gran parte de la información en las memorias de cálculo se genera automáticamente en el propio software. Programas de uso extendido en el cálculo estructural, como CYPE, permiten modelar sistemas estructurales y generar reportes que incluyen listados de comprobaciones, resultados numéricos y documentación asociada a los distintos elementos estructurales (CYPE Ingenieros, 2024). No obstante, aunque estas herramientas optimizan significativamente el proceso de cálculo, la preparación final de la documentación para su presentación ante entidades de control continúa dependiendo, en gran medida, de procesos manuales de revisión, selección y organización de la información.

En este contexto, estas actividades documentales representan una carga operativa relevante para el ingeniero estructural, ya que requieren tiempo, atención y un manejo adecuado de documentos extensos, generalmente en formato PDF. Si bien estas tareas no alteran el resultado del diseño estructural, sí influyen en la eficiencia del proceso profesional y en la probabilidad de cometer errores asociados a la manipulación de la información. Desde un punto de vista asociado a la gestión del proyecto, la optimización de los flujos de trabajo posibilita liberar tiempo del ingeniero para actividades de mayor valor técnico, como el análisis estructural, la revisión crítica de resultados y la toma de decisiones de diseño (Eastman et al., 2011).

En los últimos años, el uso de herramientas de automatización y procesamiento digital de documentos ha adquirido un papel relevante en distintos campos de la ingeniería, particularmente en los que se gestionan grandes volúmenes de información. Estas herramientas permiten estructurar flujos de trabajo repetitivos, estandarizar formatos de entrega y mejorar la consistencia de la

documentación presentada, sin sustituir el criterio del profesional responsable. En este sentido, la automatización se ve como un apoyo al ejercicio de la ingeniería, y no como un reemplazo de la responsabilidad al diseño estructural.

Bajo este enfoque, el presente informe aborda el desarrollo e implementación de un sistema de automatización de documentos orientado a la extracción, organización y generación de anexos a memorias de cálculo estructural a partir de listados generados por el software CYPECAD. El proyecto se desarrolla en el marco de una práctica profesional en ingeniería civil y se enfoca en la optimización de tareas documentales, manteniéndose limitado a aquellas actividades que requieren un criterio profesional, como lo es la interpretación de resultados, la verificación normativa y la toma de decisiones de diseño estructural.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Desarrollar e implementar una herramienta que automatice la extracción, organización y generación de anexos de memorias de cálculo estructural a partir de listados generados en el software CYPECAD, con el fin de optimizar la preparación de documentación técnica para su presentación ante curaduría.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar la estructura y el contenido de las memorias de cálculo estructural generadas por CYPECAD, Con el objetivo de determinar las secciones que pueden ser automatizadas documentalmente sin comprometer la responsabilidad del ingeniero civil.
- Diseñar un flujo de automatización de archivos que permita procesar las memorias de cálculo estructural y localizar las secciones correspondientes a comprobaciones estructurales.
- Implementar el flujo de automatización mediante la plataforma n8n, integrando procesos de lectura, clasificación y manipulación de documentos PDF para la generación de anexos.
- Integrar modelos de lenguaje de gran tamaño (LLM) dentro del flujo de automatización con el propósito de realizar la identificación de rangos de páginas y la clasificación de los elementos estructurales contenidos en las memorias de cálculo.
- Documentar el proceso de diseño, implementación y validación del sistema mediante el registro en una bitácora técnica de las actividades realizadas, y evaluar su funcionamiento a través de su aplicación en casos reales desarrollados en la empresa donde se desarrolla la práctica.

3. Marco teórico

3.1 Memorias de cálculo estructural y su trazabilidad.

Las memorias de cálculo estructural se integran como un elemento central en el desarrollo de proyectos de ingeniería civil, ya que permiten documentar de forma ordenada los criterios de diseño, los sistemas estructurales adoptados y los resultados obtenidos en el análisis. Estos documentos facilitan la revisión y supervisión técnica, la validación de terceros y la correspondencia de las decisiones de diseño, fundamentalmente en los procesos de evaluación ante entidades de control.

Desde un punto de vista de gestión de la calidad, la trazabilidad de la información es una condición elemental para asegurar la coherencia y confiabilidad de los procesos documentales. La norma ISO 9001 establece la importancia de controlar y mantener la información documentada como parte de un sistema de gestión de la calidad, asegurando que los documentos sean identificables, accesibles y consistentes a lo largo del tiempo (International Organization for Standardization [ISO], 2015). En este contexto, este principio resulta ser aplicable a la gestión de memorias de cálculo y sus anexos.

3.2 Software de análisis estructural y generación de documentación técnica

La aplicación de herramientas como softwares para el análisis y diseño estructural se ha asentado como una práctica habitual en la ingeniería civil. Estas herramientas permiten modelar sistemas estructurales, realizar análisis de acuerdo a la normativa vigente y así generar documentación asociada al proceso de diseño, incluyendo listados de comprobaciones y reportes.

Una de estas herramientas de software es CYPECAD el cual permite la generación de memorias de cálculo estructural a partir de los modelos desarrollados, proporcionando información estandarizada que apoya el proceso de diseño (CYPE Ingenieros, 2024). No obstante, aunque estas herramientas optimizan significativamente el cálculo estructural, la preparación final de la documentación para su presentación formal continúa requiriendo procesos adicionales de organización y consolidación por parte del ingeniero.

3.3 Automatización de procesos de documentación en ingeniería

La automatización de procesos ha sido ampliamente utilizada en distintos campos de la ingeniería como una estrategia para mejorar la eficiencia operativa, reducir tiempos de ejecución y minimizar errores asociados a tareas repetitivas. De acuerdo con Groover (2020), la automatización se orienta principalmente a la optimización de procesos sistemáticos y repetibles, permitiendo que los profesionales concentren sus esfuerzos en actividades que requieren análisis y toma de decisiones.

En el entorno de la ingeniería civil, la automatización de procesos de documentación se aplica de manera frecuente a la gestión de información extensa, la preparación de reportes y la normalización de formatos de entrega. Estas aplicaciones no sustituyen el criterio profesional del ingeniero, sino que actúan como herramientas para mejorar la eficiencia y congruencia del proceso, en correspondencia a los principios de calidad y trazabilidad exigidos en proyectos de ingeniería.

3.4 Uso responsable de herramientas computacionales e inteligencia artificial en ingeniería

La integración de herramientas computacionales, incluyendo sistemas basados en inteligencia artificial, han abierto nuevas posibilidades en cuanto el apoyo en procedimientos técnicos de ingeniería. No obstante, su empleo exige precaución, definiendo sus límites y previniendo que estas herramientas desplacen el criterio profesional en la toma de decisiones. Russell y Norvig (2021) señalan que los sistemas de inteligencia artificial pueden ser utilizados como herramientas de apoyo para el procesamiento de información y la asistencia en tareas específicas, siempre que las decisiones críticas permanezcan bajo control humano. Este planteamiento toma especial importancia, ya que la interpretación de resultados estructurales, la verificación normativa y la adopción de decisiones de diseño deben ser asumidas por el ingeniero responsable.

Desde este punto de vista, el uso de herramientas automatizadas y sistemas de inteligencia artificial en procesos de documentación se proyectan como un complemento al ejercicio profesional, orientado a mejorar la gestión de la información sin comprometer la responsabilidad al diseño estructural.

4. Metodología

4.1 Enfoque metodológico

La metodología adoptada en el presente trabajo corresponde a un enfoque aplicado, buscando resolver un problema técnico existente, hallado en el proceso de generación de memorias de cálculo estructural. El avance metodológico se apoya en la automatización del proceso de documentación, preservando aquellas tareas que exigen el criterio del ingeniero civil.

El proceso fue estructurado de forma ordenada y repetitiva, posibilitando ajustar el alcance y las decisiones técnicas a medida que se progresaba en el análisis, diseño e implementación del sistema automatizado. Este acercamiento facilitó la comprobación constante del funcionamiento del agente diseñado, respaldando su uso en un ámbito profesional real.

4.2 Análisis del proceso documental existente

En una primera etapa se realizó un análisis del proceso tradicional de elaboración de memorias de cálculo estructural, enfocándose particularmente en la preparación de los anexos necesarios para la constitución final de la memoria de cálculo, dichos anexos derivan de los listados generados por el software CYPE. Este análisis permitió identificar actividades repetitivas de carácter documental, tales como la revisión manual de documentos extensos en formato PDF, la localización visual de secciones específicas y la extracción manual de rangos de páginas correspondientes a comprobaciones estructurales de los elementos más representativos de la estructura.

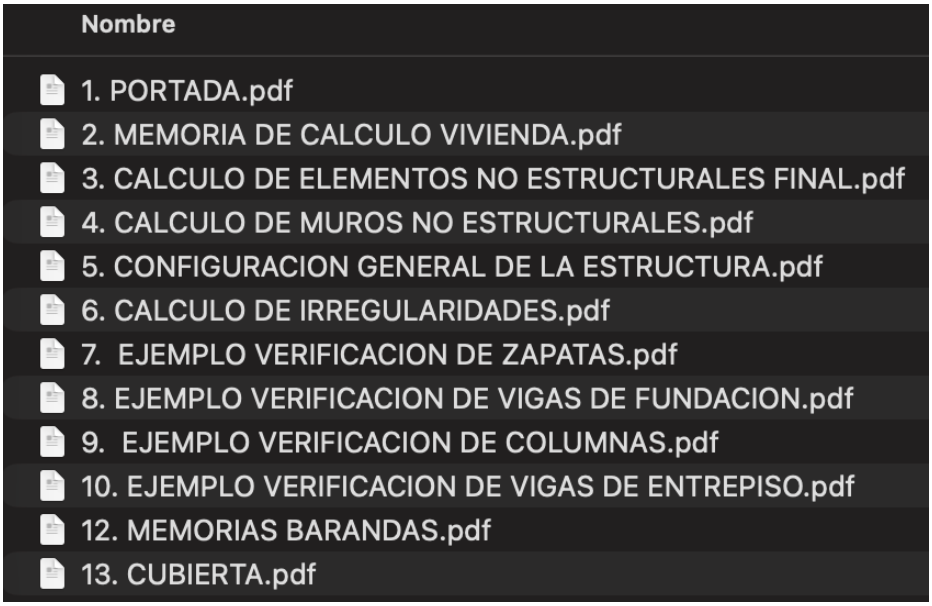
Es importante señalar que los anexos a la memoria de cálculo estructural no se elaboran como un simple complemento documental, sino como un instrumento de apoyo al proceso de revisión. En el contexto de la presentación de proyectos ante curaduría, estos anexos permiten al ingeniero revisor comprender de manera más clara cómo el software de análisis estructural realiza los cálculos, cuáles son los criterios empleados en las comprobaciones y cómo se obtienen los resultados que respaldan el diseño estructural. De esta forma, los anexos facilitan la trazabilidad del proceso de cálculo y contribuyen a una revisión técnica más optima y transparente.

Asimismo, se evaluó la estructura interna de las memorias de cálculo exportadas por el software, identificando patrones recurrentes en la organización de encabezados, numeración de

páginas y agrupación de resultados por tipo de elemento estructural. Este diagnóstico inicial permitió determinar la viabilidad de automatizar el proceso sin alterar el contenido técnico ni los resultados del cálculo estructural.

Figura 1

Estructura general de una memoria de cálculo estructural y ubicación de los anexos técnicos utilizados en el proceso de revisión por curaduría.



Nota. Elaboración propia a partir de memorias de cálculo estructural generadas con software de análisis estructural.

4.3 Delimitación del alcance del sistema automatizado

A partir del análisis inicial, se estableció una delimitación del alcance del sistema automatizado. Se definió que el proyecto se enfocaría solamente en la automatización de tareas documentales, tales como la identificación de las secciones requeridas, la extracción de anexos y la generación de documentos consolidados para presentación ante curaduría.

De manera explícita, se excluyeron del alcance actividades como la interpretación de resultados estructurales, la verificación normativa y la toma de decisiones de diseño, las cuales requieren criterio profesional y responsabilidad del ingeniero civil. Esta delimitación permitió que el sistema desarrollado actuara como una herramienta de apoyo, sin sustituir el juicio técnico.

4.4 Exploración inicial de soluciones basadas en inteligencia artificial

Con el fin de reducir la carga operativa derivada de la preparación manual de anexos, se llevó a cabo una evaluación inicial del uso de plataformas basadas principalmente en herramientas de inteligencia artificial generativa conversacional. El objetivo principal de esta evaluación fue determinar la capacidad de estas plataformas para identificar y segmentar directamente las secciones pertinentes dentro de las memorias de cálculo estructural.

No obstante, durante las pruebas realizadas se evidenciaron limitaciones importantes para el desarrollo del proyecto. En particular, se identificó una falta de control sobre el flujo del proceso, dificultades para integrar múltiples etapas en una sola solución y respuestas que hacen que el resultado final sea no reproducible o no estandarizado, lo cual resulta poco eficiente para generar trazabilidad, repetibilidad y control del proceso. Además, se identificaron restricciones impuestas por las plataformas de servicio. Estas limitaciones incluían un número restringido de aproximaciones o pruebas, así como restricciones en la cantidad de documentos que se podían cargar. Estas restricciones se deben a la necesidad de monetizar estos sistemas. Sumado a esto, los resultados indican que incluso si se adquiriera un servicio de suscripción, no habría ningún cambio en las respuestas y resultados esperados. Por lo tanto, un servicio de suscripción sería un gasto considerable e innecesario para el proyecto.

Estas primeras aproximaciones permitieron concluir que una solución basada solamente en conversaciones generativas por inteligencia artificial no eran suficiente para atender los requerimientos establecidos.

4.5 Evaluación de alternativas tecnológicas y criterios de selección

A partir de las pruebas iniciales, se establecieron criterios claros y consistentes para la selección de una plataforma de automatización adecuada. Entre estos criterios se incluyeron: control completo en cada una de las etapas del flujo de trabajo, capacidad de integrar los distintos formatos de documentos sin alterar los formatos que se extraen del software CYPECAD, posibilidad de incorporar herramientas de inteligencia artificial de forma complementaria y facilidad para adaptar el sistema a diferentes memorias de cálculo.

Bajo estos criterios, se evaluaron distintas alternativas de automatización, enfocándose en aquellas plataformas que permitieran construir flujos de trabajo estructurados y con flexibilidad al

cambio. Esta etapa toma relevancia ya que permitió orientar el proyecto hacia una solución donde la prioridad es la lógica del proceso por encima de la automatización indiscriminada.

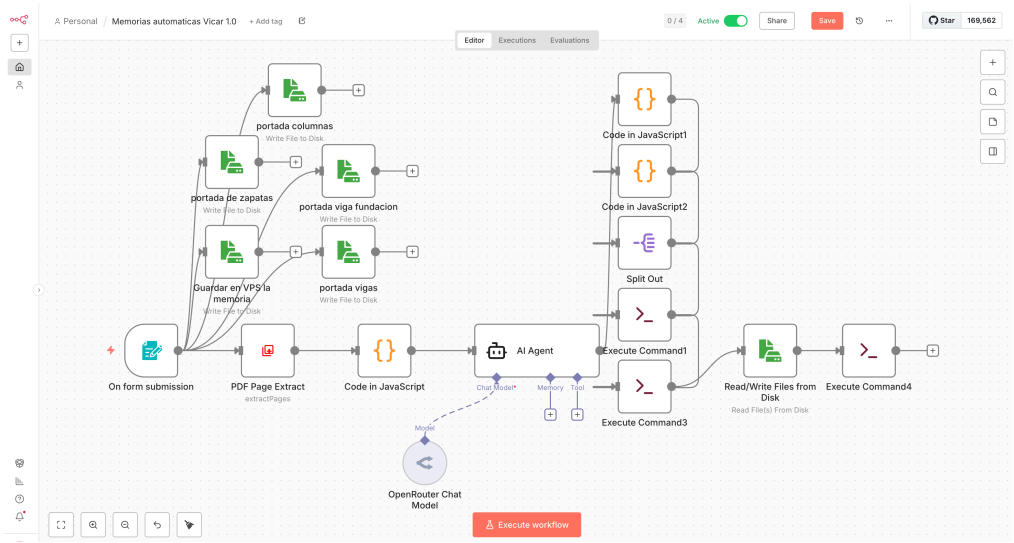
4.6 Selección de la plataforma n8n y definición del agente de automatización

Como resultado del proceso de evaluación, se seleccionó la plataforma n8n para el desarrollo del agente de automatización. Esta decisión tiene como base la capacidad de la plataforma para construir flujos de trabajo, en los cuales cada etapa del proceso puede ser definida, controlada y validada de manera efectiva. Adicionalmente, posee la capacidad de ejecutarse en entornos locales, lo que proporciona una mayor flexibilidad en cuanto a los costos asociados al proyecto. Esto se debe a que se pueden contratar suscripciones de estos mismos por un precio más económico. Asimismo, ofrece la posibilidad de ejecutarse en un entorno cerrado, lo cual resulta beneficioso para la empresa, dado que se trabaja con información sensible o confidencial, reduciendo así la probabilidad de fugas de información.

La plataforma permitió integrar diferentes tipos de operaciones dentro de un mismo flujo, combinando tareas de lectura de archivos, procesamiento de texto, manipulación de documentos PDF e integración de modelos de lenguaje como componentes de apoyo. De esta manera, el agente de automatización se diseñó como un sistema en el que la los grandes modelos de lenguaje (LLM) cumplen una función auxiliar, mientras que la lógica principal del proceso permanece bajo el control de un flujo definido.

Figura 2

Vista general del agente de automatización implementado como flujo de trabajo en la plataforma n8n.



Nota. Elaboración propia.

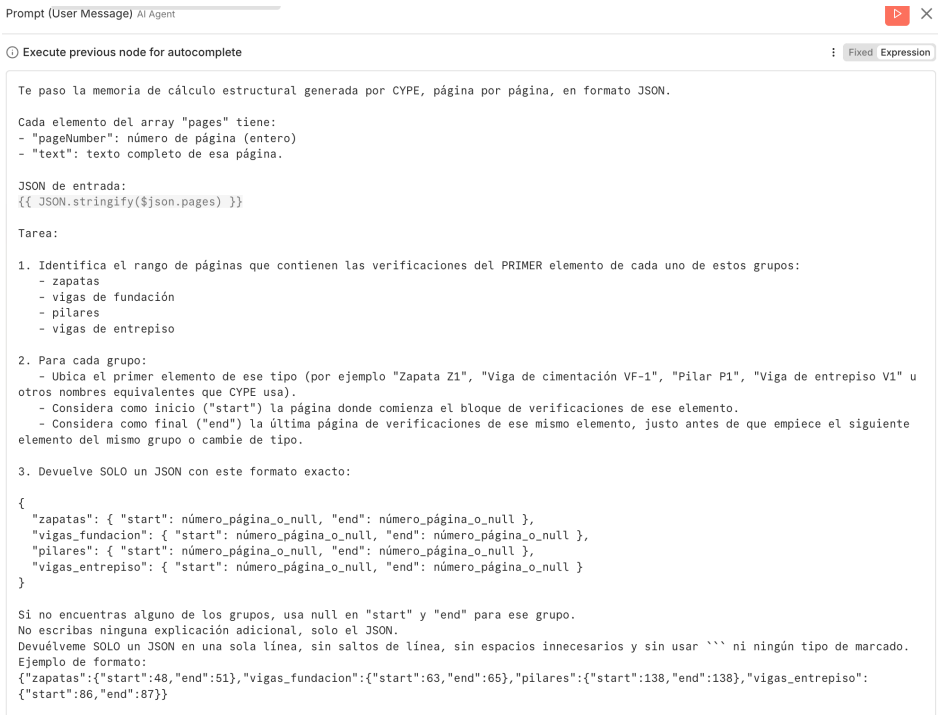
4.7 Diseño e implementación del flujo del agente de IA

El flujo del agente de automatización está diseñado para ejecutarse secuencialmente. Primero, carga la memoria de cálculo estructural y las portadas necesarias para los anexos. Luego, procesa el documento para extraer su contenido textual, que se usa como material para identificar los rangos de las páginas en las que se encuentran las secciones que se requieren extraer de la memoria de cálculo general.

Consecutivamente, se incorporó un gran modelo de lenguaje (LLM) para facilitar la identificación y clasificación de secciones dentro del documento. Su propósito principal era determinar los rangos de páginas relacionados con las comprobaciones estructurales. Cabe destacar que el modelo se empleó exclusivamente para tareas de organización de información, sin interpretar resultados ni realizar verificaciones normativas.

Figura 3

Prompt empleado en el modelo LLM

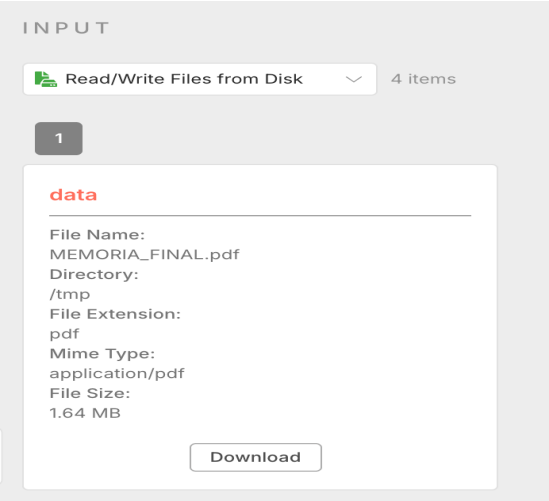


4.8 Generación y consolidación automática de anexos

Tras la identificación de los rangos de páginas asignados a cada conjunto de comprobaciones, el agente ejecuta la extracción automática de los anexos del documento original. Cada anexo se genera de forma independiente, incorporando una portada normalizada, previamente configurada dentro del flujo de trabajo. Posteriormente, el sistema consolida todos los anexos en un único archivo en formato PDF, estructurado de manera lógica y optimizado para su presentación ante curaduría. Este proceso automatiza completamente una tarea que tradicionalmente se realizaba manualmente, reduciendo significativamente el tiempo de ejecución y mejorando la consistencia del resultado final.

Figura 4

Etapa final del flujo del agente correspondiente a la generación y consolidación del documento PDF final.



4.8 Validación del agente y ajustes finales

La validación del agente de automatización se llevó a cabo mediante su implementación en escenarios de proyectos reales desarrollados durante la práctica empresarial. En esta etapa, se verificó el correcto funcionamiento del flujo, la coherencia del documento final generado y la congruencia entre los anexos extraídos y la información contenida en la memoria original.

Adicionalmente, se implementaron ajustes progresivos al flujo con base en los resultados obtenidos, corrigiendo errores, ajustando la identificación de secciones y mejorando la estabilidad del sistema. Este proceso permitió establecer un agente de automatización funcional, adecuado al entorno profesional y alineado con los objetivos establecidos.

5. Análisis de resultados

5.1 Funcionamiento general del agente de automatización

El desarrollo metodológico finalizó en la creación de un agente de automatización documental operativo, diseñado para procesar memorias de cálculo estructural generadas por el software CYPECAD. Este agente automatiza la extracción, organización y consolidación de anexos, permitiendo una ejecución consecutiva y controlada de todas las etapas del proceso

documental, desde la carga de los archivos hasta la generación del documento final en formato PDF.

Durante las pruebas, el agente presento un funcionamiento estable y reproducible, manteniendo la integridad del contenido original y asegurando que los anexos generados correspondieran con a las secciones identificadas dentro de la memoria de cálculo. El sistema no alteró resultados estructurales, formatos, modelos de análisis ni criterios de diseño, haciendo que su función sea una herramienta de apoyo en la elaboración de una memoria de cálculo.

5.2 Comparación entre el proceso manual y el proceso automatizado

Antes de la implementación del agente de automatización, la preparación de anexos implicaba una serie de tareas manuales, entre las que se incluía la revisión del documento, la identificación visual de las seccione, la extracción de páginas específicas y la reorganización del archivo final. Este proceso dependía de la experiencia del ingeniero y presentaba un riesgo de errores causados por omisiones, duplicaciones o desorganización en la documentación.

La implementación del agente de automatización permitió una ejecución directa y controlada de estas tareas. El proceso automatizado redujo la intervención manual a la carga inicial de los archivos y a la verificación final del documento generado, lo que facilitó el desarrollo del procedimiento.

5.3 Reducción del tiempo de elaboración de anexos y errores de edición

La implementación del agente de automatización durante la práctica empresarial resultó en una reducción aproximada de dos horas en el tiempo requerido para la preparación de anexos de memorias de cálculo estructural, en comparación con el procedimiento manual previamente empleado. Este ahorro de tiempo se atribuye a la diferencia entre el tiempo promedio dedicado a la revisión, extracción y organización manual de anexos y el tiempo necesario para ejecutar el flujo automatizado.

La estimación del ahorro de tiempo se basa en registros consignados en la bitácora del proyecto, donde se documentaron los tiempos empleados en ambos procedimientos para memorias de cálculo de complejidad similar. Si bien este valor puede variar en función de la extensión del

documento y del número de elementos estructurales analizados, el ahorro observado fue consistente en los casos evaluados durante la práctica.

5.4 Calidad, organización y trazabilidad del documento final

El documento final generado por el agente presentó una estructura clara y ordenada, incorporando portadas establecidas y agrupando los anexos conforme a los criterios definidos durante el diseño del flujo. Esta organización facilitó la revisión del documento y mejoró la claridad en la presentación de los resultados estructurales.

Desde el punto de vista de la trazabilidad, el sistema permitió conservar una correspondencia entre los anexos generados y las secciones originales de la memoria de cálculo, lo que resulta indispensable para el proceso de revisión por parte del ingeniero en curaduría. Este aspecto confirmó que la automatización no afecta la transparencia del proceso de cálculo, sino que contribuye a una presentación más clara y coherente de la información.

5.5 Evaluación del rol del agente de IA en el proceso

La integración del modelo de lenguaje dentro del flujo del agente demostró una utilidad notable en el apoyo al procesamiento documental, particularmente en la identificación y clasificación de secciones dentro de documentos extensos. La implementación del modelo permitió una reducción de la intervención manual en la localización de rangos de páginas, sin asumir funciones de interpretación técnica o verificación normativa.

Este resultado muestra como la decisión de utilizar la inteligencia artificial como un componente auxiliar, y no como un sistema autónomo de toma de decisiones es una opción considerable en los flujos de trabajo ordinarios. De esta forma, el agente de IA se integra de manera responsable al desarrollo de proyectos civiles, respetando los límites del ejercicio profesional.

5.6 Alcances y limitaciones observadas

Si bien los resultados obtenidos demuestran una mejora en la eficiencia del proceso documental, se identificaron ciertas limitaciones en el sistema. Entre estas limitaciones se encuentra la dependencia de una estructura relativamente homogénea en las memorias de cálculo,

así como la necesidad de realizar modificaciones puntuales en el flujo cuando se presentan formatos atípicos o documentos con organización no convencional.

No obstante, estas limitaciones no comprometen el objetivo primordial del proyecto, dado que el agente fue diseñado como una herramienta adaptable y sujeta a ajustes progresivos.

5.7 Validación en el contexto de la práctica empresarial

La aplicación del agente en casos reales desarrollados durante la práctica empresarial permitió validar su utilidad y pertinencia en un entorno profesional. Los resultados obtenidos confirmaron que la herramienta contribuye de manera efectiva a la optimización del proceso de elaboración de anexos, reduciendo tiempos, mejorando la organización documental y facilitando la revisión técnica por parte de terceros.

En este contexto, el agente desarrollado se consolida como una solución viable para apoyar la gestión documental en proyectos estructurales, manteniendo la integridad técnica del diseño y respetando los principios de responsabilidad profesional propios de la ingeniería civil.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- El desarrollo del presente trabajo permitió la concepción e implementación de un agente de automatización documental, específicamente diseñado para la preparación de anexos de memorias de cálculo estructural. Esta implementación se alinea con el objetivo general establecido para la práctica empresarial.
- El análisis del proceso tradicional de elaboración de anexos reveló que estas actividades implican una carga manual considerable para el ingeniero estructural, a pesar de no incidir en los resultados del diseño. La automatización de este proceso permitió optimizar la gestión del proceso.
- La evaluación de diversas alternativas tecnológicas, así como los ensayos iniciales con plataformas exclusivamente basadas en inteligencia artificial, revelaron limitaciones como la falta de control en el proceso. Estos factores fueron determinantes en la selección de una solución basada en flujos de trabajo.

- La plataforma n8n demostró ser idónea para el desarrollo del agente de automatización, al facilitar la integración de procesos de manipulación documental y modelos de lenguaje como herramientas de apoyo, preservando la lógica principal del proceso bajo la supervisión del desarrollador.
- La implementación del agente durante la práctica demostró una reducción aproximada de dos horas en la preparación de anexos para memorias de cálculo estructural. Asimismo, se observó una disminución en los errores de edición derivados de la manipulación manual de documentos, lo que corrobora el impacto positivo del sistema desarrollado en términos de eficiencia y calidad documental.
- La delimitación del alcance del proyecto, excluyendo actividades que requieren criterio profesional, permitió asegurar que el agente desarrollado actúe como una herramienta de apoyo al ejercicio de la ingeniería civil, respetando la responsabilidad del ingeniero estructural.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda continuar con el acondicionamiento y mejora del agente de automatización, incorporando configuraciones que permitan adaptarlo a memorias de cálculo con estructuras diferentes o formatos no estándar.
- Para futuros desarrollos, podría evaluarse la integración del agente con otros programas de análisis estructural, ampliando su aplicabilidad a distintos contextos profesionales.
- Se sugiere documentar formalmente el uso del agente dentro de la empresa mediante guías internas, con el fin de facilitar su adopción por otros profesionales.
- Se recomienda mantener la revisión final del documento generado como una etapa obligatoria del proceso, verificando que la automatización complemente, y no sustituya, el criterio profesional del ingeniero civil.
- Finalmente, se recomienda continuar explorando el uso responsable de herramientas de automatización e inteligencia artificial en la ingeniería civil, priorizando siempre la responsabilidad y ética ingenieril.

Referencias

CYPE Ingenieros. (2024). *Documentación técnica y manuales de usuario de CYPECAD*. https://www.cype.com/

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.

Groover, M. P. (2020). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing (4th ed.)*. Pearson.

International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9001:2015 quality management systems—Requirements*. ISO.

Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach (4th ed.).* Pearson.

Anexos

Anexo 1. Autoarchivo en Repositorio y documentos de interés

Consulte el instructivo de autoarchivo en el este enlace.

Anexo 2. Póster

Figura 5

Póster presentación jornadas académicas.

