



**UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS BASICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACION**

TESIS

**Inteligencia Artificial Aplicada al Análisis de Planos Arquitectónicos conforme a
Reglamentaciones de Aguascalientes.**

**Presenta
Claudia Angelica Limon Flores**

**Para Obtener el grado de Maestría en Ciencias con opciones a la Computación,
Matemáticas Aplicadas**

TUTORES

**Dra. Aurora Torres Soto
Dra. María Dolores Torres Soto**

COMITÉ TUTORAL

Dr. Julio Cesar Ponce Gallegos

Aguascalientes, Ags. Noviembre de 2025.

Autorizaciones


M. EN C. JORGE MARTÍN ALFÉREZ CHÁVEZ
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

PRESENTE

Por medio del presente como **CO DIRECTORA** designada de la estudiante **CLAUDIA ANGÉLICA LIMÓN FLORES** con ID **15123** quien realizó la tesis titulado/a: **INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL ANÁLISIS DE PLANOS ARQUITECTÓNICOS CONFORME A REGLAMENTACIONES DE AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en la fracción IX del Artículo 43 del Reglamento General de Posgrados, doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags., a 12 de noviembre de 2025.


Dra. Aurora Torres Soto
Co directora de Tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Coordinación del Programa de Posgrado

M. EN C. JORGE MARTÍN ALFÉREZ CHÁVEZ
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS


P R E S E N T E

Por medio del presente como **CO DIRECTORA** designada de la estudiante **CLAUDIA ANGÉLICA LIMÓN FLORES** con ID **15123** quien realizó la tesis titulado/a: **INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL ANÁLISIS DE PLANOS ARQUITECTÓNICOS CONFORME A REGLAMENTACIONES DE AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en la fracción IX del Artículo 43 del Reglamento General de Posgrados, doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 12 de noviembre de 2025.



Dra. Maria Dolores Torres Soto
Co directora de Tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Coordinación del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.
Revisado por: Depto. Control Escolar/Depto. Gestión Integral.
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.

Código: DO-SEE-FO-07
Actualización: 02
Emisión: 13/08/25

M. EN C. JORGE MARTÍN ALFÉREZ CHÁVEZ
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

PRESENTE

Por medio del presente como **ASESOR** designada de la estudiante **CLAUDIA ANGÉLICA LIMÓN FLORES** con ID **15123** quien realizó la tesis titulado/a: **INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL ANÁLISIS DE PLANOS ARQUITECTÓNICOS CONFORME A REGLAMENTACIONES DE AGUASCALIENTES**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en la fracción IX del Artículo 43 del Reglamento General de Posgrados, doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 12 de noviembre de 2025

Dr. Julio Cesar Ponce Gallegos
Asesor de Tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Coordinación del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.
Revisado por: Depto. Control Escolar/Depto. Gestión Integral.
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.

Código: DO-SEE-FO-07
Actualización: 02
Emisión: 13/08/25



DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA
PARA INICIAR LOS TRÁMITES DEL EXAMEN DE GRADO



Fecha de dictaminación (dd/mm/aaaa): 24/11/2025

NOMBRE: Claudia Angélica Limón Flores **ID** 15123

PROGRAMA: Maestría en Ciencias con Opciones a la Computación, Matemáticas Aplicadas **LGAC (del posgrado):** Computación-Inteligencia Artificial

MODALIDAD DEL PROYECTO DE GRADO: Tesis (x) *Tesis por artículos científicos () **Tesis por Patente () Trabajo Práctico ()

TÍTULO: Inteligencia Artificial Aplicada al Análisis de Planos Arquitectónicos conforme a Reglamentaciones de Aguascalientes.

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): La estandarización de criterios en planos reduciendo la subjetividad y promoviendo mejores decisiones, mayor transparencia y viviendas más seguras para familias, con menos retrabajo y costos sociales.

INDICAR SEGÚN CORRESPONDA: SI, NO, NA (No Aplica)

Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:	
SI	El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI	La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI	Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI	Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI	Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI	El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
SI	Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
SI	Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI	Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
El egresado cumple con lo siguiente:	
SI	Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Posgrados
SI	Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc.)
SI	Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial
N.A.	Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario (En caso de que corresponda)
SI	Coincide con el título y objetivo registrado
SI	Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI	Tiene el CVU de la SECIHTI actualizado
N.A.	Tiene el o los artículos aceptados o publicados y cumple con los requisitos institucionales (en caso de que proceda)
*En caso de Tesis por artículos científicos publicados (completar solo si la tesis fue por artículos)	
N.A.	Aceptación o Publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto según el nivel del programa
N.A.	El (la) estudiante es el primer autor(a)
N.A.	El (la) autor(a) de correspondencia es el Director (a) del Núcleo Académico
N.A.	En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
N.A.	Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
**En caso de Tesis por Patente	
N.A.	Cuenta con la evidencia de solicitud de patente en el Departamento de Investigación (anexaría al presente formato)

Con base en estos criterios, se autoriza continuar con los trámites de titulación y programación del examen de grado:

SI x
No

FIRMAS

Elaboró:

*NOMBRE Y FIRMA DEL(LA) CONSEJERO(A) SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

Dr. Rogelio Salinas Gutiérrez

* En caso de conflicto de intereses, formará un revisor miembro del NA de la LGAC correspondiente distinto al director o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano.

NOMBRE Y FIRMA DEL COORDINADOR DE POSGRADO:

Dra. Mariela Alfaro Gómez

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

Dr. Alejandro Padilla Díaz

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

M. en C. Jorge Martín Alférez Chávez

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

En cumplimiento con el Art. 24 Fracción V del Reglamento General de Posgrado, que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: Proponer criterios y mecanismos de selección, permanencia, egreso y titulación de estudiantes para asegurar la eficiencia terminal y la titulación y el Art. 25 Fracción IX, asesorar y dar el seguimiento del estudiantado desde su ingreso hasta su titulación.

Elaborado por: D. Apoyo al Posg.
Revisado por: D. Control Escolar/D. Gestión de Calidad.
Aprobado por: D. Control Escolar/ D. Apoyo al Posg.

Código: DD-SEE-FO-15
Actualización: 02
Emisión: 12/06/25

Agradecimientos

Agradezco la Secretaría en Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación por la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado. El apoyo financiero fue fundamental para poder alcanzar esta meta profesional

Además, quiero expresar mi más sincera gratitud a mis mentores. Su confianza en mi capacidad nunca flaqueó, incluso cuando la mía lo hizo. Cuando los desafíos personales parecían insuperables, sus palabras de aliento y su firmeza académica fueron mi fortaleza. Su guía me ayudo no solo para terminar esta tesis, sino para mi formación como investigadora.

A mi esposo, gracias por su paciencia infinita, que se mantuvo firme aun cuando yo, abrumada por las circunstancias, no supe corresponder a su generosidad. Has sido el pilar que ha sostenido a nuestra familia.

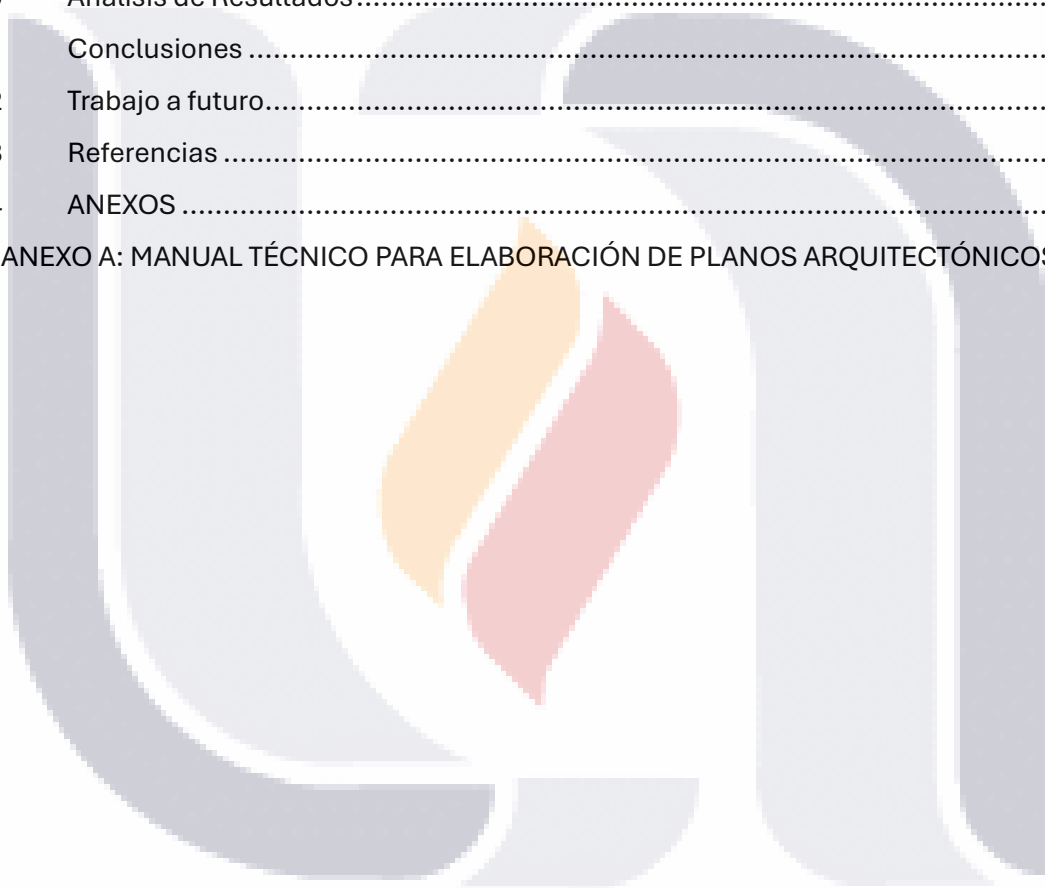
A mis hijos, gracias por recordarme siempre lo que es verdaderamente importante, ustedes siempre serán mi refugio y el motor que me impulsa cada día.

Si hoy he llegado hasta aquí, es gracias al apoyo de todos ustedes.

Índice General

I.	Índice de Tablas	3
II.	Índice de Gráficas o Figuras	4
III.	Índice de Ecuaciones.....	5
IV.	Resumen.....	6
V.	Abstract.....	7
1	Introducción	8
1.1	Contexto Urbano	8
2	Planteamiento del problema.....	9
3	Justificación.....	11
4	Objetivos	13
4.1	Objetivo General.....	13
4.2	Objetivos Específicos.....	13
5	Preguntas de Investigación	13
6	Marco Teórico	14
6.1	Análisis de Planos Arquitectónicos.....	14
6.2	Técnicas Computacionales para el Análisis Geométrico.....	15
6.2.1	Algoritmos de Cálculo Geométrico	15
6.2.2	Operaciones Morfológicas para Detección de Espacios.....	16
6.3	Procesamiento del Lenguaje Natural para Interpretación Normativa.....	16
6.4	Sistemas Inteligentes para la Interpretación Normativa Automatizada	19
7	Trabajos relacionados	20
8	Metodología.....	29
9	Desarrollo.....	30
9.1	Primera Aproximación: Análisis Basado en Imágenes	31
9.1.1	Mapeo Manual de Reglas y Procesamiento con Visión por Computadora Clásica 31	
9.1.2	Detección de Objetos con Redes Neuronales (YOLOv8)	32
9.2	Segunda Aproximación: Enfoque Vectorial (GIS)	33
9.2.1	El Desafío de la Estandarización	34
9.2.2	Procesamiento con Herramientas GIS	34
9.3	Conclusión de los Experimentos Preliminares.....	35

9.4	Descripción de la Arquitectura	35
9.5	Entrada de Datos	35
9.6	Procesamiento	37
9.6.1	Detección de Habitaciones	37
9.7	Almacenamiento	41
9.8	Validación	43
9.9	Salida.....	44
10	Análisis de Resultados.....	45
11	Conclusiones	49
12	Trabajo a futuro.....	51
13	Referencias	53
14	ANEXOS	55
	ANEXO A: MANUAL TÉCNICO PARA ELABORACIÓN DE PLANOS ARQUITECTÓNICOS	55



I. Índice de Tablas

Tabla 1 Variabilidad encontrada en planos municipales 36

Tabla 2 Comparativa de Parámetros del Motor RAG (Versión Inicial vs. Final) 41

Tabla 3 Resumen General de la Evaluación del Sistema 45

Tabla 4 Desempeño Detallado por Archivo de Prueba 46

Tabla 5 Capacidad de Detección por Tipo de Espacio Arquitectónico 47

Tabla 6 Las 10 Mediciones Más Precisas del Sistema 47

Tabla 7 Resultados de Validación Normativa - Área Mínima de Recámaras 48



II. Índice de Gráficas o Figuras

Fig. 1 Reporte de revisión manual por parte del Municipio de Aguascalientes(Magdaleno, 2025)	10
Fig. 2 Planos arquitectónicos para gestión de licencia de construcción.(Martinez, 2024)	11
Fig. 3 Ejemplo de acotaciones en plano arquitectonico (Martinez, 2024)	12
Fig. 4 La arquitectura del modelo Transformer, basada en un mecanismo de codificador-decodificador con atención (Vaswani et al., n.d.).....	18
Fig. 5 Metodología de integración de datos de CAD a GIS (Assem, 2019).....	21
Fig. 6 Etapas del flujo de trabajo para la integración de datos CAD en un entorno SIG (Assem, 2019).	21
Fig. 7 Detalle de las tareas en la etapa de preparación del archivo CAD(Assem, 2019).	22
Fig. 8 Diagrama de flujo para la transformación de reglas cualitativas a un modelo cuantitativo de verificación.(Mediano Corona, 2023).	25
Fig. 9 Arquitectura del paradigma RAG ingenuo (Naive RAG) (Gao et al., 2024).	27
Fig. 10 Diagrama de la metodología.....	29
Fig. 11 Ejemplo de la hoja de cálculo utilizada para la estructuración manual de las reglas del Código Municipal.	31
Fig. 12 Interfaz gráfica de usuario (GUI) de la aplicación “Procesador de Planos”	32
Fig. 13 Proceso de anotación manual de un plano para la creación del Ground Truth, identificando con cuadros delimitadores los objetos de interés para el entrenamiento del modelo.	33
Fig. 14 Representación vectorial de un plano arquitectónico estandarizado como resultado del filtrado de capas en un entorno GIS.	34
Fig. 15 Arquitectura del Sistema.....	35
Fig. 16 Representación de una puerta con arco de abatimiento".....	38
Fig. 17 Representación de un plano arquitectónico después de aplicar el método de "tapones virtuales".....	39
Fig. 18 Resultados del método Film-Buffer para la extracción de espacios.....	40

III. Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Fórmula del área de Gauss..... 15

Ecuación 2 Fórmula de centralidad de intermediación (BC) 23

Ecuación 3 Conectividad promedio de la red.....24



IV. Resumen

Este trabajo documenta el desarrollo de un sistema para la validación automatizada de planos arquitectónicos en formato DXF contra las normativas de un código de construcción municipal del Estado de Aguascalientes.

La metodología se basa en dos componentes principales. El primero es un módulo de procesamiento geométrico que analiza los archivos DXF. Este módulo corrige discontinuidades en los muros mediante técnicas de fusión de vértices y la inserción de "tapones virtuales" para cerrar las aberturas de las puertas. Posteriormente, se aplica un método denominado "Film-Buffer", que consiste en expandir las líneas de los muros para formar un sólido unificado, a partir del cual se extraen los polígonos que definen los espacios habitables.

El segundo componente se encarga de la interpretación de la normativa. Para ello, se utiliza un modelo de Generación Aumentada por Recuperación (RAG). El sistema consulta una base de datos vectorial que contiene la reglamentación para encontrar los artículos pertinentes a un espacio específico. La información recuperada se procesa con el modelo de lenguaje Gemini para extraer los valores y requisitos cuantitativos en un formato estructurado JSON.

Se integran ambos componentes para generar un reporte final donde se asocian los espacios geométricos identificados con el resultado de su validación normativa. Las principales aportaciones de este trabajo incluyen: un manual de especificaciones técnicas para la estandarización de planos DXF, la aplicación de la técnica film-buffer para detección de espacios arquitectónicos, y la implementación de un sistema RAG para interpretación de normativa legal municipal.

V. Abstract

This work documents the development of a system for the automated validation of architectural plans in DXF format against the regulations of a municipal construction code in the State of Aguascalientes.

The methodology is based on two main components. The first is a geometric processing module that analyzes DXF files. This module corrects discontinuities in walls through vertex merging techniques and the insertion of "virtual plugs" to close door openings. Subsequently, a method called "Film-Buffer" is applied, which consists of expanding wall lines to form a unified solid, from which the polygons defining habitable spaces are extracted.

The second component handles the interpretation of regulations. For this purpose, a Retrieval-Augmented Generation (RAG) model is used. The system queries a vector database containing the regulations to find the relevant articles for a specific space. The retrieved information is processed with the Gemini language model to extract quantitative values and requirements in a structured JSON format.

Both components are integrated to generate a final report where the identified geometric spaces are associated with the results of their regulatory validation. The main contributions of this work include: a technical specifications manual for the standardization of DXF plans, the application of the film-buffer technique for architectural space detection, and the implementation of a RAG system for the interpretation of municipal legal regulations.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

1 Introducción

1.1 Contexto Urbano

El tema de la presente investigación está enfocado en la aplicación de Inteligencia Artificial (AI) para analizar de manera automática planos arquitectónicos, con el fin de mejorar la eficiencia y objetividad del proceso de revisión y aprobación de licencias de construcción en Aguascalientes, México. Este estudio surge como respuesta a las deficiencias identificadas en el proceso manual actual, caracterizado por retrasos, subjetividad y falta de consistencia en la verificación del cumplimiento normativo de los proyectos de construcción.

El crecimiento urbano y la expansión hacia localidades cercanas manifiestan como consecuencia la interacción de la dinámica social con el desarrollo urbano. Como describe Padilla López (Padilla Lozano et al., 2018), la ciudad de Aguascalientes se extiende más allá de su mancha urbana, afectando la desigualdad, degradación urbana, y configuración de nuevos espacios sociales en suburbios y zonas periféricas. Este fenómeno, junto con las condiciones de vida emergentes, subraya la necesidad de políticas y estrategias de construcción que respondan adecuadamente a estas dinámicas, abordando no solo las necesidades básicas sino también tratando de mejorar la calidad de vida y satisfacción general.

La agilidad y eficiencia en el proceso de obtener una Licencia de Construcción se ha vuelto esencial tanto para los dueños de propiedades como para el desarrollo urbano. Sin embargo, el proceso actual de revisión manual de planos arquitectónicos en Aguascalientes presenta graves deficiencias que obstaculizan este objetivo fundamental, agravado por la subjetividad de los analistas y la diversidad de estilos utilizados por los arquitectos en la elaboración de estos documentos.

Además, los profesionales tienen su propio enfoque y preferencias al crear planos, lo que resulta en una amplia variedad de formatos, simbologías y convenciones. Esta diversidad dificulta aún más el proceso de revisión manual, ya que los encargados deben adaptar su análisis a cada estilo particular, aumentando la probabilidad de errores y retrasos.

También se ha observado que existe una diferencia entre la ubicación de las acotaciones y los espacios habitables, en contraste con los métodos empleados en la literatura internacional sobre análisis de planos. Esta particularidad local sugiere una oportunidad para explorar adaptaciones en los métodos de análisis existentes.

La diferencia observada se atribuye a prácticas y normativas locales de representación gráfica en planos arquitectónicos. Por ejemplo, el COTEDUVY (Código de Ordenamiento Territorial, Desarrollo Urbano y Vivienda para el Estado de Aguascalientes), promulgado por el Gobierno Estatal para el período 2022-2027, define criterios concretos sobre los planos que deben presentarse al solicitar la unión o división de terrenos o áreas. Sin embargo, este código no aborda directamente la ubicación de las acotaciones en relación con los espacios habitables o las habitaciones en los planos arquitectónicos.

Ante este escenario, es necesario adaptar la metodología existente de análisis de planos a un reconocimiento de patrones adaptado a las normativas locales.

Una imagen clara y precisa del plano es indispensable para obtener información semántica y geométrica crítica, como la identificación de muros, ventanas y puertas. La relevancia de este estudio reside en su potencial para el cumplimiento normativo en Aguascalientes. Este trabajo no solo busca llenar un vacío en la literatura actual, sino también ofrecer una metodología adaptada que pueda ser empleada en nuestra localidad.

2 Planteamiento del problema

En Aguascalientes, México, el proceso para obtener una Licencia de construcción para obras mayores a 60 m^2 presenta diversas deficiencias que provocan retrasos significativos y obstáculos para los solicitantes. Actualmente, el trámite puede demorar más de 15 días, incluso cuando la documentación inicial está completa. Este retraso se debe, en parte, a la revisión manual de los planos por parte de los analistas de gobierno, quienes se basan en criterios subjetivos y se enfocan en aspectos que dominan, dejando de lado otros detalles importantes.

La falta de un sistema estandarizado y objetivo para la revisión de planos genera inconvenientes para los solicitantes, quienes deben corregir las deficiencias señaladas por los analistas. Estas deficiencias suelen ser comunicadas de manera informal, a través de listas manuscritas como se muestra en la Fig. 1

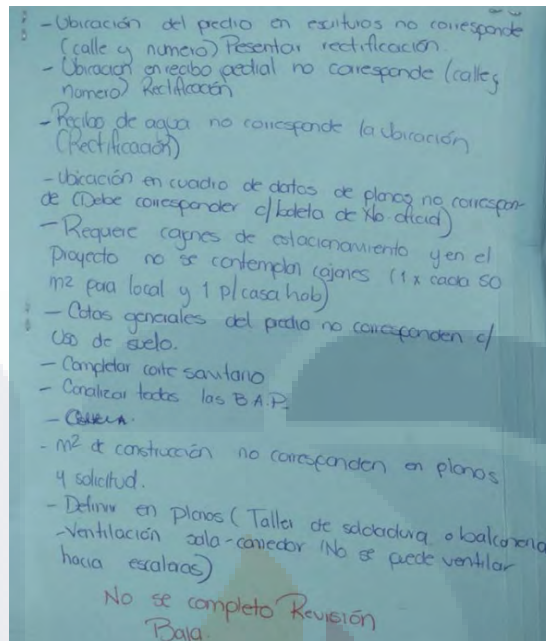


Fig. 1 Reporte de revisión manual por parte del Municipio de Aguascalientes (Magdaleno, 2025)

Además, cuando los planos se revisan de forma manual, es común que no se detecten todos los errores en la primera revisión. Esto significa que los solicitantes deben corregir y regresar varias veces a presentar sus documentos.

Cada vez que esto sucede, el constructor o dueño del proyecto pierde dinero de múltiples formas. Si pidió un préstamo para construir, cada día de retraso significa más intereses al banco. Mientras tanto, sus arquitectos e ingenieros siguen cobrando por el tiempo dedicado a hacer las correcciones necesarias. Además, cada reingreso de la documentación puede implicar nuevos gastos. Y quizás lo más significativo: si el proyecto estaba destinado a venderse o rentarse, cada día de retraso representa ingresos que se dejan de percibir.

Todo esto, sumado a la frustración de tener que ir y venir múltiples veces a las oficinas municipales, convierte un trámite que debería ser ágil en un proceso costoso y desgastante para todos los involucrados.

3 Justificación

La complejidad y demora en el trámite de Licencias de construcción provoca que muchos particulares opten por iniciar obras sin contar con los permisos necesarios. Esta práctica conlleva diversos riesgos, como la posibilidad de clausura de la obra, la construcción con deficiencias estructurales o arquitectónicas, o la realización de construcciones que no cumplan con las normativas municipales y pasen desapercibidas para las autoridades.

En el ámbito tecnológico también existen desafíos por la complejidad en los estilos de representación gráfica empleados por los arquitectos. Cada profesional tiene su propio enfoque y preferencias al crear planos, lo que resulta en una amplia variedad de formatos, simbologías y convenciones. Este problema se ve agravado por la variabilidad en la calidad de los documentos digitales por la naturaleza gráfica y textual compleja de los planos, así como la información textual indispensable, dimensiones, etiquetas y notas. Detectar, segmentar y reconocer los textos de manera precisa, sigue siendo un reto, especialmente cuando se trata de mucho texto o con estilos variados (Schönfelder et al., 2024) como se aprecia en el plano de la Fig. 2.

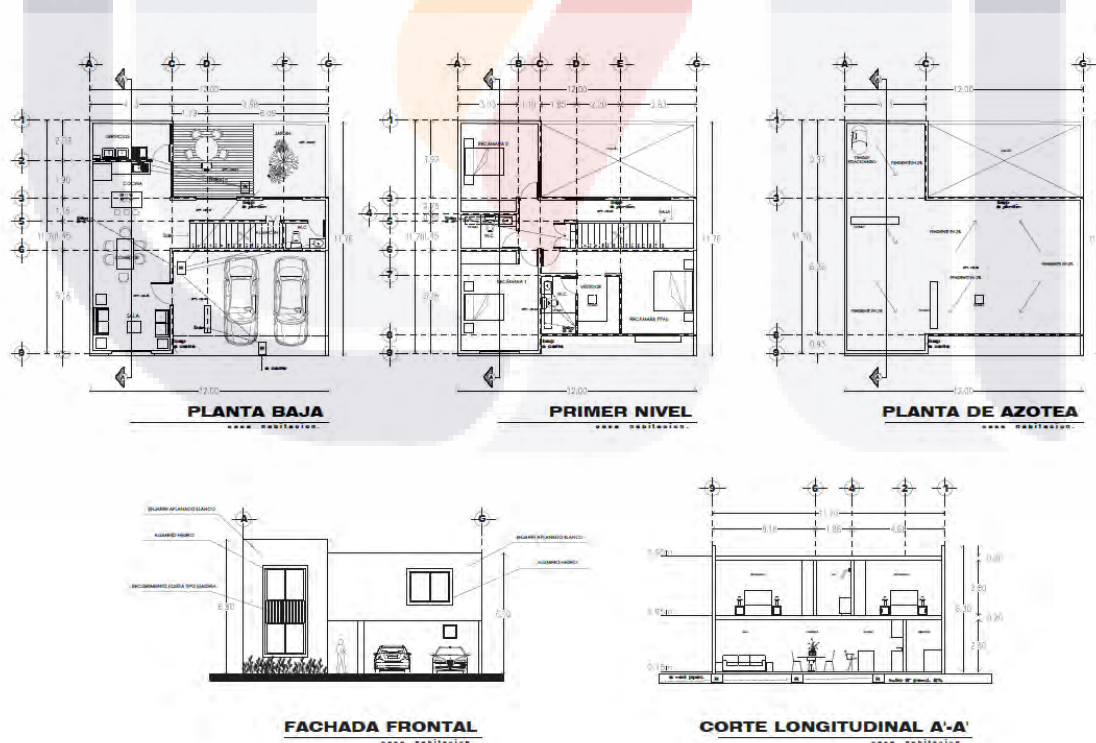


Fig. 2 Planos arquitectónicos para gestión de licencia de construcción. (Martinez, 2024)

Además de reconocer los espacios, es necesario conocer sus dimensiones. Aquí comienza la complejidad, pues no existe una norma internacional uniforme respecto a la ubicación de las acotaciones en los planos. En México, por ejemplo, es común que las acotaciones se coloquen a los lados de cada planta del plano como se muestra en la Fig. 3.

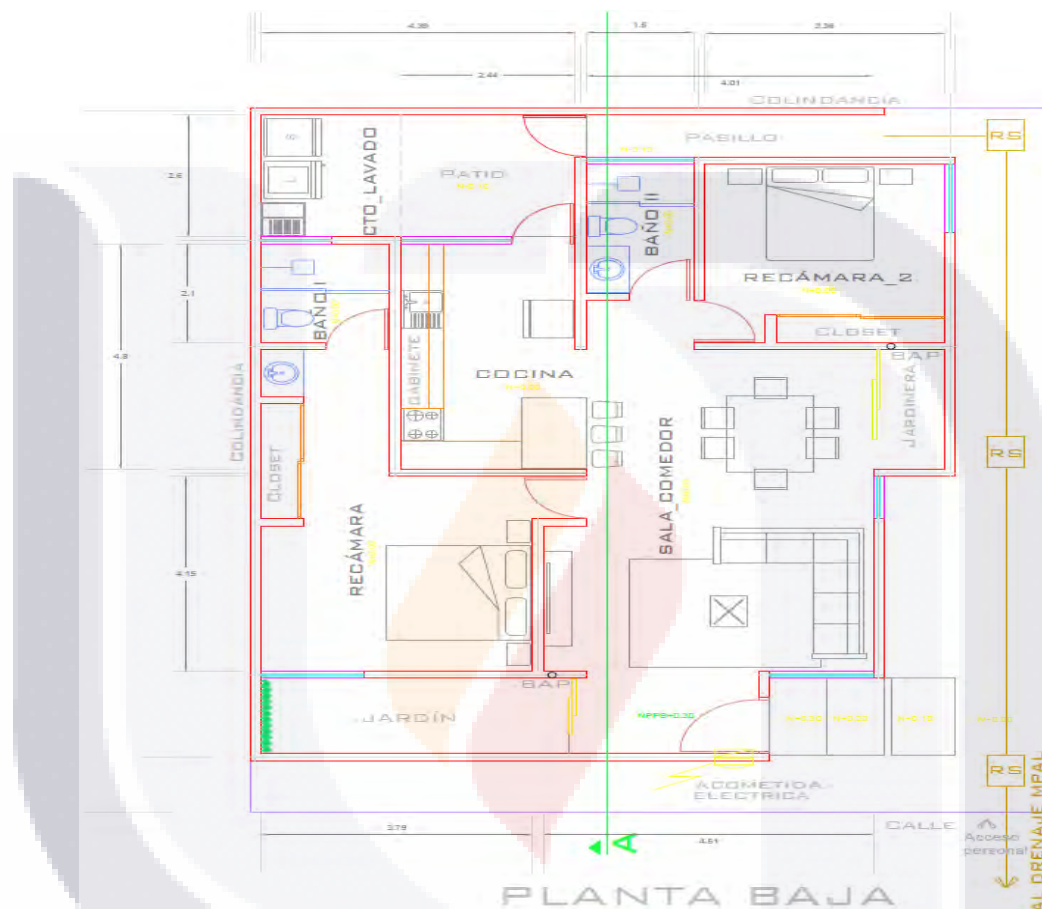


Fig. 3 Ejemplo de acotaciones en plano arquitectónico (Martinez, 2024)

Entonces, más allá de la detección de líneas y formas, es necesario comprender el significado de cada elemento en el contexto arquitectónico. Esto implica reconocer y clasificar componentes como paredes, puertas, ventanas y mobiliario, así como inferir las relaciones espaciales entre ellos (Ahmed et al., 2012). Pero para una revisión completa, es necesario no solo analizar los elementos gráficos, sino conocer sus dimensiones y verificar su cumplimiento con los códigos y normativas vigentes, principalmente con el Libro Sexto del código Municipal de Aguascalientes para obtener las licencias de construcción (Municipio de Aguascalientes, 2024).

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

Desarrollo de un sistema inteligente para el análisis y validación automática de planos arquitectónicos conforme a los reglamentos que determinan la autorización de la licencia de construcción en el Municipio de Aguascalientes.

4.2 Objetivos Específicos

1. Desarrollar, implementar y probar un algoritmo de detección automática de espacios arquitectónicos en planos DXF¹ mediante técnicas de procesamiento geométrico que identifique correctamente al menos el 80% de las habitaciones.
2. Construir, entrenar y validar un sistema de recuperación semántica que extraiga normativas necesarias del Código Municipal de Aguascalientes.
3. Implementar un sistema RAG² que interprete automáticamente requisitos normativos y genere valores numéricos específicos para cada tipo de espacio arquitectónico.
4. Desarrollar, probar y validar un motor de verificación automática que compare las dimensiones detectadas contra la normativa municipal, reportando cumplimientos y violaciones.
5. Evaluar el desempeño del sistema completo en términos de precisión de detección, tiempo de procesamiento y exactitud de validación normativa utilizando planos reales.

5 Preguntas de Investigación

¿Es posible desarrollar un sistema inteligente para validar automáticamente planos arquitectónicos según el Código Municipal de Aguascalientes?

¿Puede un algoritmo detectar automáticamente las habitaciones que se encuentran dentro de planos con formato DXF?

¿Cómo extraer normativas del Código Municipal mediante recuperación semántica?

¹ DXF (Drawing Exchange Format): Formato de archivo desarrollado por Autodesk para permitir el intercambio de dibujos técnicos entre diferentes programas de diseño asistido por computadora.

² RAG (Retrieval-Augmented Generation): Arquitectura de inteligencia artificial que combina la búsqueda de información relevante en una base de conocimiento con la capacidad de generar respuestas contextualizadas.

¿Puede un sistema RAG interpretar requisitos normativos y generar valores numéricos para cada tipo de espacio?

¿Cómo verificar automáticamente el cumplimiento normativo comparando dimensiones contra la normativa?

¿Cuál es el desempeño del sistema en precisión usando planos reales?

6 Marco Teórico

El presente marco teórico sienta las bases para crear un sistema que valide automáticamente los planos arquitectónicos según las normas municipales de Aguascalientes entendiendo como las computadoras pueden analizar planos y como se trata de que las máquinas entiendan documentos legales y normativos y como estas áreas se entrelazan.

6.1 Análisis de Planos Arquitectónicos

Los planos arquitectónicos son como un manual de instrucciones detallado para construir cualquier edificio, utilizan un lenguaje gráfico para describir con precisión los detalles de una edificación. Como señala la Universidad Veracruzana (Universidad Veracruzana, 2023), estos documentos son el principal medio de comunicación en cualquier proyecto arquitectónico, ya que ofrecen información sobre dimensiones, estructuras y circulaciones. Sin embargo; cuando tienen queremos que estos documentos sean entendidos por las computadoras, existen varias representaciones del documento, las dos principales que se abordan son el formato rasterizado, que no es más que una fotografía digital del plano, una matriz de píxeles en archivos como PNG o JPEG donde el significado de cada línea y símbolo permanece oculto, necesitando técnicas de análisis de imagen para ser descifrado entre el ruido visual y las variaciones de estilo. Por otro lado, existen los formatos vectoriales nativos del diseño asistido por computadora (CAD), como DXF. Lejos de ser meros conjuntos de líneas, estos archivos a menudo contienen capas de información semántica. Los elementos se organizan en bloques con nombres descriptivos como "Muros" o "Ventanas" con atributos específicos. Pero a pesar de esta información, el verdadero problema para la automatización es su falta de estándar universal. Un plano puede usar la capa "A-WALLS", mientras que otro usa "ARQ-MUROS". Una puerta puede ser un bloque llamado "PUERTA_80CM" o "DOOR-32-SWING". Esta variabilidad impide crear un analizador simple basado en reglas fijas.

Por lo anterior, ha habido una evolución en el análisis de planos como documenta la revisión de (Pizarro et al., 2022), a partir de 2017, el aprendizaje profundo ha estado presente en este campo, especialmente para analizar imágenes escaneadas de planos. Pero inicialmente el análisis de planos rasterizados se abordó mediante técnicas de detección de patrones geométricos predefinidos. El detector de bordes de Canny (Biswas & Sil, 2012) se estableció como estándar por su proceso multietapa que incluye suavizado Gaussiano, cálculo de gradientes, supresión de no-máximos para adelgazar bordes, y el umbral por histéresis para discriminar bordes significativos. Complementariamente, la Transformada de Hough (Ballard, 1981) permite detectar formas geométricas mediante la transformación del espacio de la imagen a un espacio de parámetros, donde las formas buscadas se manifiestan como puntos de acumulación. Esta técnica resulta particularmente útil para identificar segmentos de líneas rectas correspondientes a muros, tolerando oclusiones parciales causadas por puertas o ventanas. Sin embargo; cuando tiene acceso directo a datos vectoriales CAD, los métodos basados en reglas siguen siendo efectivos. La precisión geométrica exacta del análisis vectorial directo es difícil de superar cuando se necesita medidas precisas y relaciones espaciales confiables.

6.2 Técnicas Computacionales para el Análisis Geométrico

Para el procesamiento automatizado de planos arquitectónicos se requiere la implementación de algoritmos y estructuras de datos especializadas que optimicen tanto el análisis geométrico como las operaciones de búsqueda. Estas técnicas, desarrolladas en el campo de la geometría computacional y la ciencia de datos, proporcionan las herramientas fundamentales para manejar eficientemente la complejidad inherente en los documentos arquitectónicos digitales.

6.2.1 Algoritmos de Cálculo Geométrico

El algoritmo de Shoelace, también conocido como fórmula del área de Gauss, proporciona un método computacionalmente eficiente para calcular el área de polígonos simples. Dado un polígono con vértices $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ el área se calcula mediante:

$$A = 1/2 \left| \sum (x_i y_{(i+1)} - y_{(i+1)} x_i) \right|$$

Ecuación 1 Fórmula del área de Gauss

Esta fórmula, con complejidad $O(n)$, es particularmente robusta para polígonos irregulares y no convexos, comunes en la representación de espacios arquitectónicos. Su simplicidad matemática y estabilidad numérica la convierten en la elección estándar para bibliotecas de geometría computacional como Shapely (Sean Gillies and Shapely contributors, 2025a).

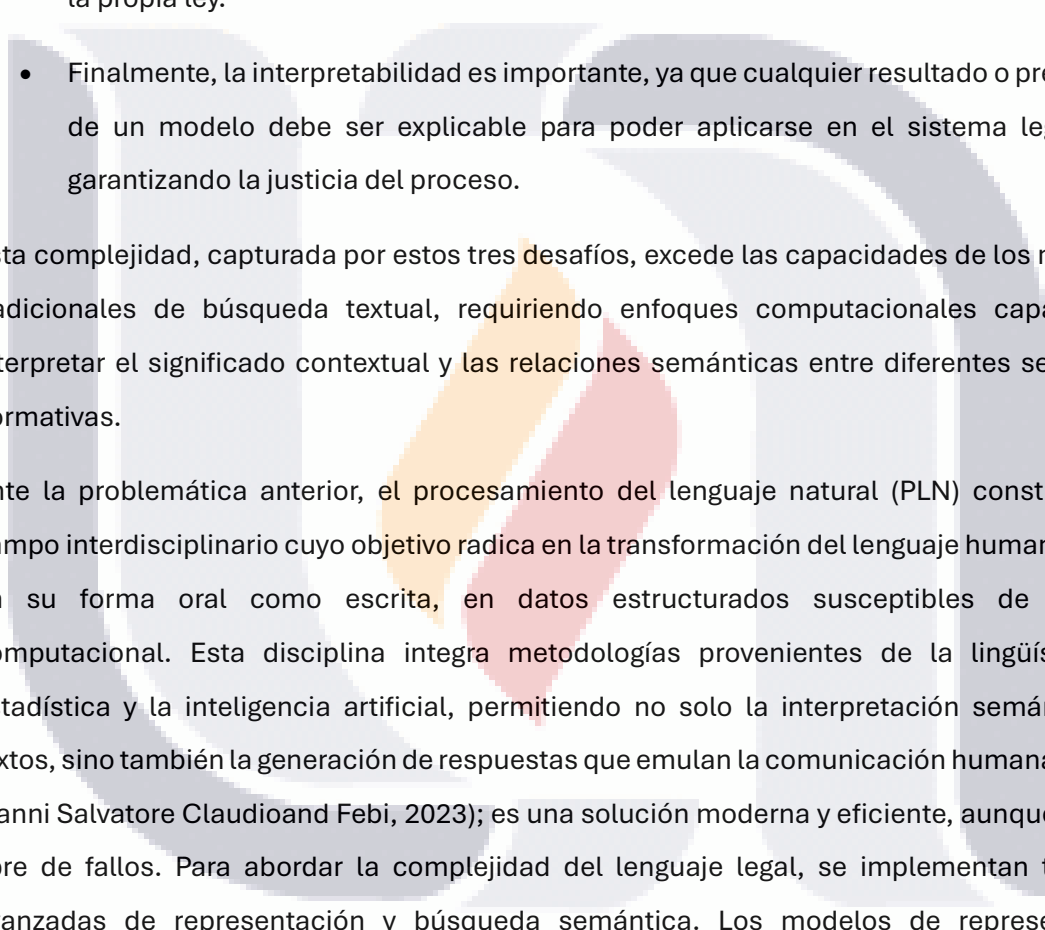
6.2.2 Operaciones Morfológicas para Detección de Espacios

La técnica de "film-buffer" representa una aplicación innovadora de las operaciones morfológicas clásicas de la visión por computadora al análisis de planos arquitectónicos (Sean Gillies and Shapely contributors, 2025b). Esta técnica aplica una operación de dilatación (buffer) seguida de unión booleana para crear una representación sólida continua de los elementos estructurales.

El proceso transforma elementos lineales (muros) en áreas mediante la aplicación de un buffer de radio constante, típicamente del orden de centímetros. La unión de estos buffers genera un multipolígono que representa la "masa sólida" del edificio. Los espacios habitables se identifican entonces mediante operaciones de diferencia conjuntista entre un rectángulo delimitador y esta masa sólida. Esta aproximación resuelve el problema de detectar espacios cerrados incluso cuando existen discontinuidades por puertas y ventanas.

6.3 Procesamiento del Lenguaje Natural para Interpretación Normativa

Además de realizar el análisis de los planos es importante empatar con regulaciones gubernamentales para obtener un dictamen técnico y principalmente la aprobación o rechazo del proyecto. Particularmente en Aguascalientes la regulación de construcción se encuentra codificada en el Libro Sexto del Código Municipal (Gobierno del Estado de Aguascalientes, 2015), estableciendo parámetros obligatorios sobre dimensiones mínimas, requisitos de ventilación y condiciones de habitabilidad. El lenguaje jurídico empleado presenta características distintivas que complican su procesamiento automatizado. Un trabajo de referencia como el de (Zhong et al., 2020) sobre Inteligencia Artificial Legal (LegalAI) resume estos problemas en tres desafíos fundamentales: el modelado del conocimiento, el razonamiento jurídico y la interpretabilidad.

- 
- El modelado del conocimiento aborda el "rigor técnico" y la "terminología precisa", ya que los textos legales están muy formalizados y repletos de conceptos propios que los modelos de lenguaje genéricos no pueden capturar fácilmente.
 - El razonamiento jurídico es indispensable para gestionar las "estructuras sintácticas complejas" y las "referencias cruzadas", pues a diferencia de otros dominios, el razonamiento en el derecho debe seguir estrictamente las reglas y lógicas definidas en la propia ley.
 - Finalmente, la interpretabilidad es importante, ya que cualquier resultado o predicción de un modelo debe ser explicable para poder aplicarse en el sistema legal real, garantizando la justicia del proceso.

Esta complejidad, capturada por estos tres desafíos, excede las capacidades de los métodos tradicionales de búsqueda textual, requiriendo enfoques computacionales capaces de interpretar el significado contextual y las relaciones semánticas entre diferentes secciones normativas.

Ante la problemática anterior, el procesamiento del lenguaje natural (PLN) constituye un campo interdisciplinario cuyo objetivo radica en la transformación del lenguaje humano, tanto en su forma oral como escrita, en datos estructurados susceptibles de análisis computacional. Esta disciplina integra metodologías provenientes de la lingüística, la estadística y la inteligencia artificial, permitiendo no solo la interpretación semántica de textos, sino también la generación de respuestas que emulan la comunicación humana natural (Fanni Salvatore Claudio and Febi, 2023); es una solución moderna y eficiente, aunque aún no libre de fallos. Para abordar la complejidad del lenguaje legal, se implementan técnicas avanzadas de representación y búsqueda semántica. Los modelos de representación vectorial, también conocidos como embeddings, son de gran ayuda. Mars los define como "representaciones numéricas densas que codifican unidades léxicas en espacios vectoriales de dimensionalidad específica" (Mars, 2022). Para entender esto de forma más intuitiva, podemos imaginar que estamos creando un mapa geométrico del lenguaje. En este mapa, cada palabra o texto es un punto con coordenadas específicas, y su posición está determinada por su significado. Así, elementos con semántica similar, como "abogado" y "letrado", se ubican muy cerca, mientras que conceptos dispares se sitúan lejos.

Para dar mayor contexto sobre el funcionamiento de estos vectores la arquitectura *Transformer*, que de acuerdo con (Vaswani et al., n.d.), propone un mecanismo para gestionar las relaciones contextuales en el texto que es el mecanismo de autoatención, como se ilustra en la Fig. 4 su diseño se basa en una estructura de codificador-decodificador que utiliza capas de autoatención apiladas. A diferencia de modelos anteriores que procesaban el texto de forma secuencial, el *Transformer* lo procesa en su totalidad. El mecanismo de autoatención permite que cada palabra "preste atención" a todas las demás palabras en la oración o párrafo, sopesando la importancia de cada una para definir su propio significado contextual. Por ejemplo, en la frase “El banco emitió un comunicado”, la autoatención ayuda al modelo a determinar que “banco” se refiere a una entidad financiera y no a un asiento, al ponderar su relación con palabras como “comunicado” y “emitió”.

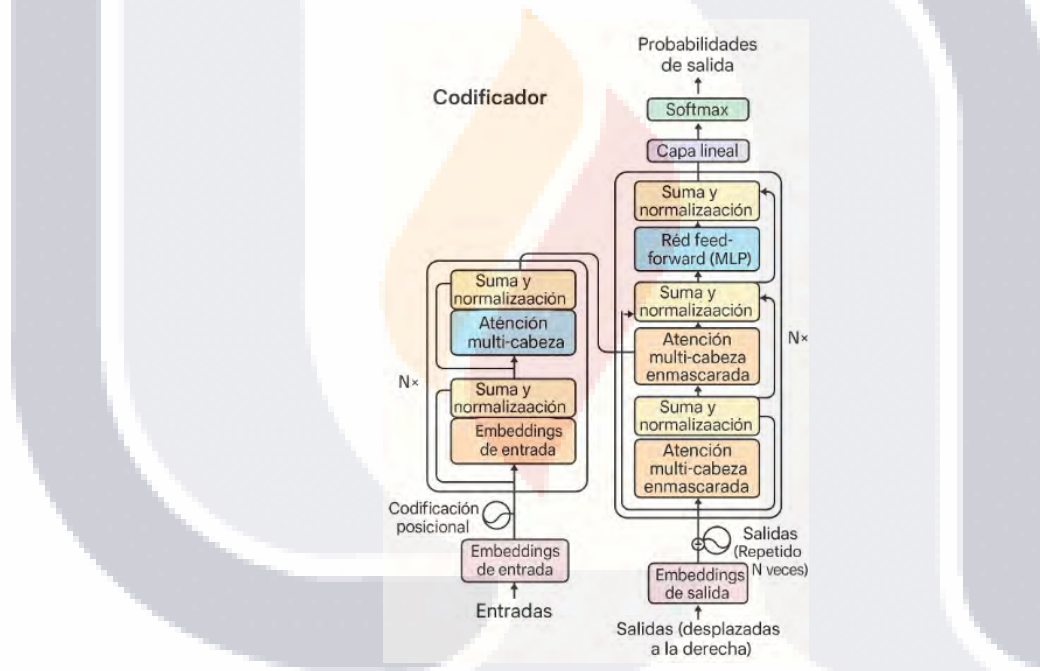


Fig. 4 La arquitectura del modelo Transformer, basada en un mecanismo de codificador-decodificador con atención (Vaswani et al., n.d.)

Para que un modelo como text-embedding-004 de Google aprenda a organizar el espacio vectorial de manera semántica, no basta con la arquitectura; se requiere un proceso de entrenamiento especializado. Una de las técnicas más efectivas y utilizadas es el aprendizaje contrastivo. El objetivo de este aprendizaje es enseñar al modelo a “acercar” las representaciones de textos similares y “alejar” las de textos diferentes. Durante el entrenamiento, se le presentan al modelo tripletas de datos:

1. Ancla: Un texto de referencia.
2. Positivo: Un texto semánticamente similar al ancla (p. ej., una paráfrasis o una pregunta que se responde con el ancla).
3. Negativo: Un texto sin relación semántica con el ancla.

La función de pérdida del modelo está diseñada para minimizar la distancia entre el vector del ancla y el vector positivo, mientras que, simultáneamente, maximiza la distancia entre el vector del ancla y el vector negativo.

Al repetir este proceso millones de veces con enormes cantidades de texto, el modelo *Transformer* aprende a generar un espacio vectorial altamente organizado, donde la proximidad geométrica es un indicador confiable de la similitud semántica. Modelos como text-embedding-004 son el resultado de este entrenamiento a gran escala, proporcionando vectores de uso general que pueden aplicarse a una amplia gama de tareas sin necesidad de reentrenamiento.

6.4 Sistemas Inteligentes para la Interpretación Normativa Automatizada

El procesamiento del lenguaje natural ha dado origen a sistemas capaces de interpretar y aplicar normativas de manera automatizada. La arquitectura de Generación Aumentada por Recuperación (RAG) representa un paradigma avanzado para tareas que demandan tanto recuperación de información precisa como generación de respuestas contextualizadas (Cuconasu et al., 2024). A diferencia de los modelos de lenguaje extensos (LLM) que operan exclusivamente a partir de su conocimiento interno que fue adquirido durante su entrenamiento, RAG enriquece su proceso generativo al consultar dinámicamente una base de conocimiento externa. Este mecanismo le permite fundamentar sus respuestas en información específica, verificable y actualizada.

El funcionamiento de esta arquitectura se sustenta en la representación vectorial del conocimiento. Los textos normativos se segmentan y se transforman en *embeddings* de alta dimensión, que se indexan en una base de datos vectorial como ChromaDB y sistemas análogos constituyen una evolución de las bases de datos tradicionales, optimizadas para la gestión y consulta de representaciones vectoriales. Su principal fortaleza reside en la implementación de algoritmos eficientes de búsqueda aproximada del vecino más cercano

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

(ANN), que permiten identificar los vectores más próximos en un espacio de alta dimensión con una latencia mínima. Cuando se presenta una consulta, el sistema primero ejecuta una búsqueda por similitud semántica para recuperar los fragmentos de la normativa más pertinentes. Posteriormente, estos fragmentos recuperados se inyectan en el contexto del modelo de lenguaje, que los utiliza como fuente fidedigna para generar una respuesta o un análisis detallado.

La adopción de la arquitectura RAG ofrece ventajas determinantes sobre el uso de modelos de lenguaje convencionales en entornos regulados:

- *Mantenibilidad y Actualización:* Mientras que un LLM tradicional requeriría un costoso reentrenamiento para incorporar modificaciones normativas, un sistema RAG solo necesita que la base de datos vectorial sea actualizada con los nuevos textos. Este proceso es rápido y eficiente, garantizando que el sistema opere siempre con la información más vigente (Cuconasu et al., 2024).
- *Trazabilidad y Verificabilidad:* Una de las mayores virtudes de RAG es su transparencia. Al basar cada respuesta en fragmentos de texto explícitamente recuperados, el sistema puede citar sus fuentes. Esta capacidad de proporcionar referencias directas a los artículos normativos aplicados hace que sus conclusiones sean auditables y fiables, un requisito indispensable en cualquier sistema de validación reglamentaria.

7 Trabajos relacionados

En la literatura existen enfoques metodológicos que, al igual que en la presente investigación, buscan automatizar la transformación de datos nativos en análisis geoespaciales. Un precedente es el flujo de trabajo desarrollado por (Assem, 2019), que emplea el constructor de modelos (*Model-Builder*) de ArcGIS para crear una secuencia de procesamiento automatizada.

(Assem, 2019) realiza una metodología de integración CAD-GIS que se inicia con la preparación del archivo CAD: el plano debe organizarse por capas temáticas (espacios, ejes, mobiliario, anotaciones) para garantizar una extracción fiable de datos espaciales. Los espacios arquitectónicos deben exportarse como polígonos cerrados; cuando existen

pequeñas discontinuidades, el entorno GIS completa automáticamente los contornos dentro de una tolerancia preestablecida, dejando las geometrías listas para el procesamiento topológico y la generación de salidas cartográficas y tabulares.

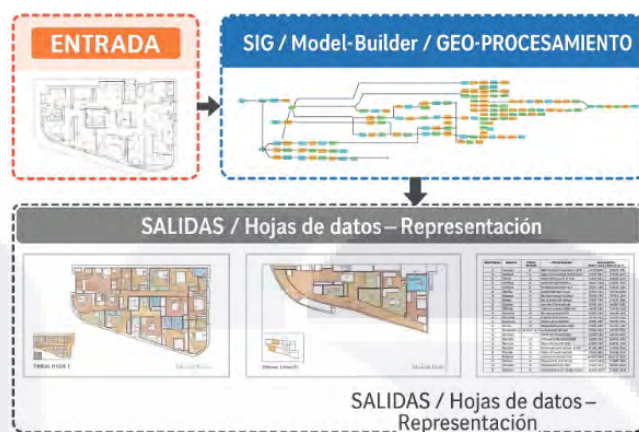


Fig. 5 Metodología de integración de datos de CAD a GIS (Assem, 2019).

El proceso como se aprecia en la fig. 5 inicia con la extracción de las entidades CAD, que se convierten en clases de entidad GIS dentro de una base de datos geoespacial (conocida como *geodatabase*). Durante la conversión se preservan los atributos originales del archivo CAD como el nombre de capa, color y grosor de línea, los cuales se emplean posteriormente para clasificar y simbolizar cada elemento

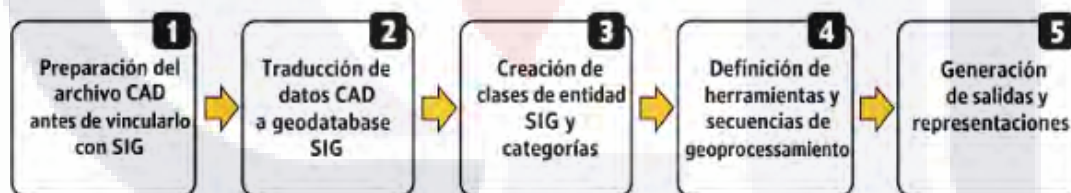


Fig. 6 Etapas del flujo de trabajo para la integración de datos CAD en un entorno SIG (Assem, 2019).

El flujo de geoprocésamiento que se puede observar en la fig. 6 recurre a herramientas nativas de ArcGIS para automatizar la integración geométrica y la agregación de atributos. Se utilizan herramientas especializadas para refinar la información geométrica y de atributos. Por ejemplo, mediante una unión espacial (Spatial Join), cada elemento geográfico “hereda” los atributos de las capas con las que se superpone, contextualizando su información. Otras herramientas permiten resumir los datos por categorías (Frequency) o manipular las geometrías para limpiar y simplificar el mapa: se combinan polígonos para eliminar fronteras

innecesarias (Dissolve y Union) o se recortan áreas para corregir solapamientos no deseados (Erase). El resultado es un conjunto de datos coherente y lógicamente estructurado.

Una vez que los datos están preparados, el sistema procede con análisis espaciales avanzados para extraer métricas específicas del dominio, como el área bruta construida (BUA), el área bruta de piso (GFA) o el área neta alquilable (NLA). Más allá de simples mediciones, el sistema también es capaz de realizar análisis de proximidad, generar zonas de influencia y ejecutar estudios de visibilidad y conectividad dentro de espacios interiores.

Finalmente, en la etapa de visualización, los resultados del análisis se convierten a un formato de imagen tipo píxel (ráster) para facilitar su interpretación. Los esquemas de color y la simbología se aplican de manera automática durante el procesamiento, y el producto final se presenta utilizando plantillas de mapa predefinidas, lo que garantiza la consistencia y permite generar múltiples vistas del mismo análisis con diferentes estilos y escalas. Este enfoque, que abarca desde la importación de datos hasta la visualización final sienta una base metodológica relevante para los objetivos de la presente investigación.



Fig. 7 Detalle de las tareas en la etapa de preparación del archivo CAD(Assem, 2019).

El proceso completo está automatizado y, según (Assem, 2019) requiere aproximadamente tres minutos para generar todos los análisis y representaciones. Gracias a la naturaleza parametrizable de ModelBuilder, el sistema admite actualizaciones en tiempo real cuando se modifican los datos de entrada, lo que facilita la iteración durante la fase de diseño conceptual. Además, el flujo incluye una etapa de verificación normativa automatizada, donde los resultados se cotejan con tablas predefinidas de requisitos y códigos de construcción para validar el cumplimiento.

Otro gran aporte en el campo del análisis espacial es el artículo de (Boeing, 2017) donde se presenta OSMnx, una biblioteca de software (implementada en Python) que cambio la forma en que los investigadores interactúan con datos geoespaciales. Este trabajo establece un precedente directo para la adquisición y el análisis estructural de las redes viales, de manera análoga se aborda la identificación de habitaciones en esta tesis. La metodología computacional comienza con la adquisición sistemática de datos desde OpenStreetMap, una fuente de información geoespacial colaborativa.

La herramienta se conecta directamente a OpenStreetMap, una base de datos geoespacial colaborativa (similar a una Wikipedia de mapas), y descarga automáticamente la red de calles de cualquier lugar del mundo. Sin embargo, su verdadera innovación radica en cómo procesa esa información. OSMnx no solo descarga un dibujo, sino que lo transforma en un grafo matemático: un modelo donde la ciudad se representa de una manera lógica y computable.

- Las intersecciones y finales de calle se convierten en nodos (puntos).
- Los tramos de calle que conectan esas intersecciones se convierten en aristas (líneas).

Este modelo es muy robusto. Sabe, por ejemplo, si una calle es de un solo sentido (lo que se conoce como un grafo dirigido) y almacena información valiosa en cada tramo, como su longitud o el tiempo estimado de viaje (lo que se denomina una arista ponderada).

El cálculo de métricas topológicas se fundamenta en algoritmos específicos para cada medida. La centralidad de intermediación (BC). En lugar de simplemente contar cuántas calles llegan a una esquina, mide qué tan importante es esa esquina para los trayectos en la ciudad. Esto sería similar a como un GPS calcularía rutas: una intersección con alta centralidad es aquella que aparece con mayor frecuencia en los caminos más cortos entre dos puntos cualesquiera de la ciudad. Formalmente, se calcula así:

$$BC(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}$$

Ecuación 2 Fórmula de centralidad de intermediación (BC)

Donde σ_{st} representa el número total de caminos más cortos entre los nodos s y t , y $\sigma_{st}(v)$ es el número de esos caminos que pasan por v .

Otra métrica es la de la conectividad de la red que nos dice qué tan robusta y resiliente es la red vial. Una red bien conectada ofrece muchas rutas alternativas, mientras que una red poco conectada puede colapsar si se bloquea un punto clave. Se puede medir de varias formas, incluyendo la conectividad promedio entre todos los nodos de la red:

$$k(G) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{u \neq v} k(u, v)$$

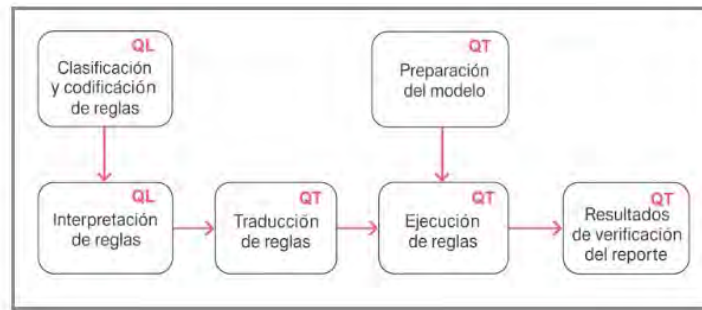
Ecuación 3 Conectividad promedio de la red

Donde $k(u, v)$ representa el número mínimo de nodos que deben eliminarse para desconectar los nodos u y v y n es el número total de nodos en el grafo.

Además de estas métricas estructurales, la herramienta calcula indicadores prácticos como una medida que compara la distancia real de un trayecto por la calle con la distancia "en línea recta" (euclidiana). Un valor alto de esta medida nos indica que la red vial de una zona es muy sinuosa o indirecta.

Finalmente, el trabajo de Boeing (2017) destaca la importancia de poder guardar y visualizar estos análisis. Los grafos y sus métricas pueden exportarse a formatos estándar para usarse en otros sistemas y se pueden generar visualizaciones claras que representan la estructura de la red, coloreando las calles o intersecciones según su importancia.

Otro trabajo que ha servido de referencia para la metodología de este trabajo es la investigación de (Mediano Corona, 2023) para la verificación automatizada del cumplimiento de normativas en modelos de construcción inteligentes (BIM). Su investigación establece un proceso sistemático para traducir el lenguaje ambiguo de las normativas a flujos de trabajo computacionales ejecutables. El proceso, sintetizado en la fig. 8, se divide en un conjunto de fases cualitativas y cuantitativas.



QL: Cualitativo
QT: Cuantitativo

Fig. 8 Diagrama de flujo para la transformación de reglas cualitativas a un modelo cuantitativo de verificación. (Mediano Corona, 2023).

La primera etapa se centra en la interpretación humana y la estructuración de la información.

- **Codificación y Clasificación de la Regla:** El proceso que se observa en la fig. 8, no empieza con programación, sino con un análisis experto. Cada regla de una normativa se "desempaqueta" y se le asigna un código estructurado (ej. AR-SPA-PrSt.12.1) y se rellena una tabla de clasificación. Esto crea una especie de "pasaporte" único para cada regla, que la identifica y describe sus características principales (dominio, tipo, origen, etc.) de una manera estandarizada.
- **Interpretación de la Regla:** Este es el paso más crucial para salvar la brecha entre el texto y la máquina. Mediano Corona combina tres técnicas para transformar la regla escrita en lógica computable:
 1. **Metodología RASE:** Actúa como una "gramática" para diseccionar la semántica de la regla en cuatro partes: Requisito, Aplicabilidad, Selección y Excepción.
 2. **Modelos de Lenguaje con IA:** Se utilizan herramientas como ChatGPT para ayudar en el proceso, tomando la regla original y la estructura RASE para generar una primera versión de la lógica.
 3. **Generación de Seudocódigo:** El resultado final de esta fase es un pseudocódigo, que es una descripción de la lógica de la regla en un formato simplificado, similar a la programación, que servirá de base para el siguiente paso. Es vital

destacar que este proceso requiere supervisión humana constante para garantizar su precisión.

La segunda etapa se enfoca en la implementación computacional y la aplicación de las reglas.

- *Preparación del Modelo:* En paralelo a la fase cualitativa, es indispensable preparar el modelo BIM. Esto implica asegurar la calidad de los datos, la consistencia en las nomenclaturas y la estandarización de los parámetros del modelo digital del edificio. Sin un modelo limpio y bien estructurado, la verificación automática no es fiable.
- *Traducción de la Regla:* El pseudocódigo generado en la fase de interpretación se traduce ahora a un lenguaje de programación visual (VPL), específicamente en un "grafo" de Dynamo. En este paso, la lógica abstracta se convierte en una herramienta tangible y ejecutable.
- *Ejecución de la Regla:* La herramienta de Dynamo se ejecuta sobre el modelo BIM preparado. El sistema procesa los elementos pertinentes y evalúa si cumplen o no con las condiciones establecidas en la regla.
- *Reporte de Resultados:* Finalmente, el marco genera informes sobre los resultados de la verificación. El sistema es versátil y puede producir distintos tipos de reportes, como tablas de datos (exportables a Excel), o reportes visuales directamente en el modelo, donde los elementos que no cumplen la normativa se colorean para una fácil identificación.

Este marco metodológico, que va desde la codificación semántica de la normativa hasta la generación de reportes interactivos, es un referente clave por su enfoque estructurado e integral. Demuestra un camino viable para la automatización de la verificación normativa.

Para orquestar el flujo de recuperación y generación de respuestas, este trabajo adopta el marco de Retrieval-Augmented Generation (RAG). Este paradigma, ha sido sistematizado recientemente en el contexto de los LLMs modernos. Gao destaca que RAG aporta dos ventajas decisivas para este trabajo (Gao et al., 2024):

1. *Reduce las alucinaciones del modelo:* Al incorporar conocimiento desde bases de datos externas, se mejora la precisión y credibilidad de las respuestas, mitigando la

generación de contenido factual incorrecto, especialmente en tareas intensivas en conocimiento.

2. *Permite la actualización de conocimiento:* Facilita la integración continua de información nueva o específica de un dominio, en este caso, las cláusulas normativas y los metadatos de planos DXF, sin necesidad de reentrenar costosamente el LLM.

El trabajo de Gao también establece las tres etapas del paradigma RAG más simple cuya arquitectura se aprecia en la fig. 9, conocido como Naive RAG (RAG ingenuo): Indexado (procesar y vectorizar los documentos), Recuperación (buscar los fragmentos más relevantes para una consulta) y Generación (sintetizar una respuesta basada en la consulta y los fragmentos recuperados). Este proceso constituye el marco teórico sobre el cual se diseña y valida la arquitectura del sistema propuesto.

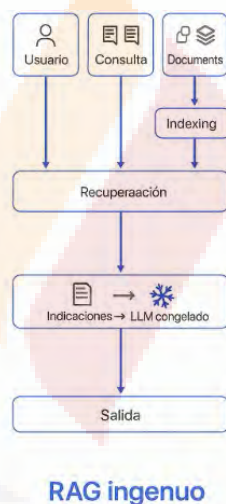
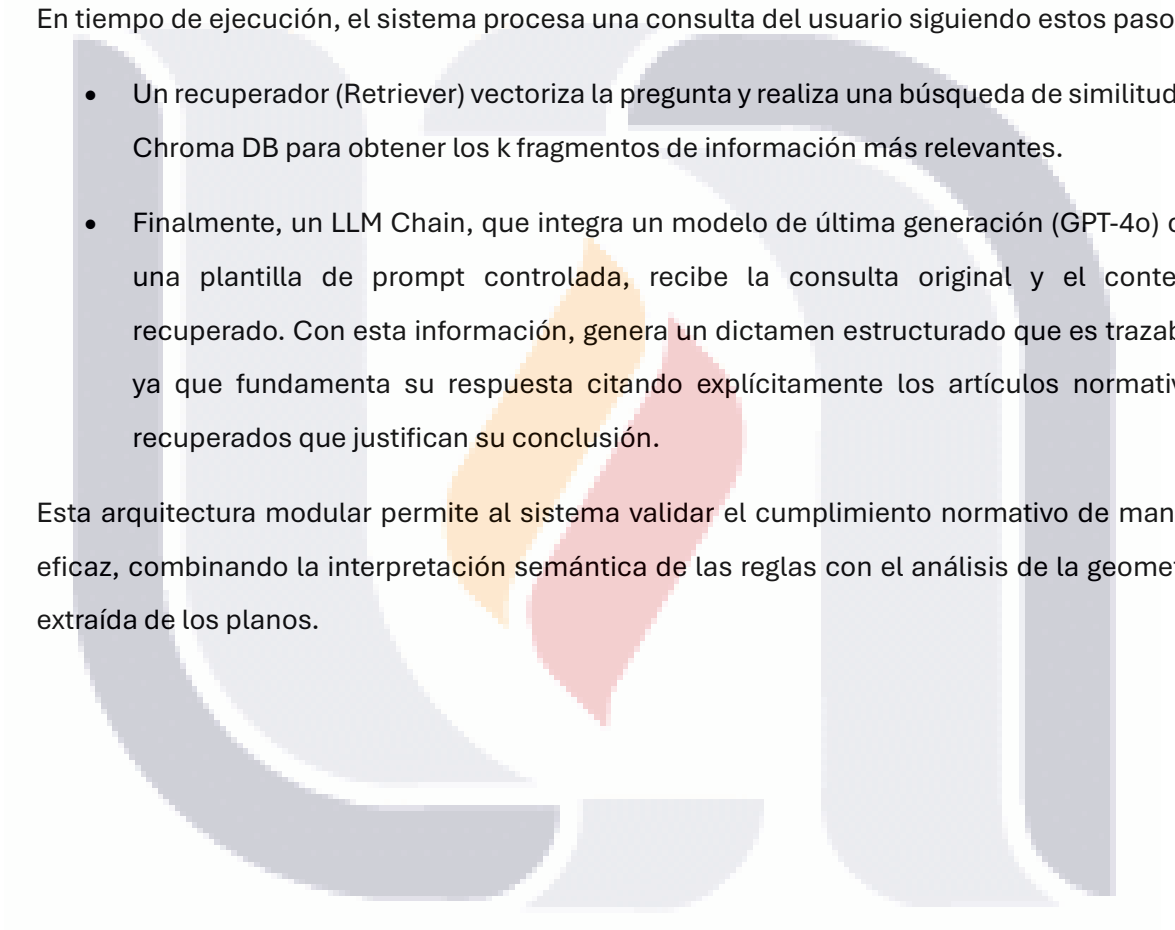


Fig. 9 Arquitectura del paradigma RAG ingenuo (Naive RAG) (Gao et al., 2024).

Para la implementación práctica de este marco, se ha seleccionado el framework LangChain, dada su capacidad para modularizar e integrar los distintos componentes del proceso. La arquitectura del sistema, alineada con el paradigma Naive RAG, se detalla a continuación.

El primer componente del sistema se encarga de procesar las fuentes de información y convertirlas en una base de conocimiento consultable. Este proceso implica:

- Un cargador de documentos (Document Loader) que extrae y estructura la información de los archivos.

- 
- Un modelo de embeddings que transforma los fragmentos de texto (cláusulas normativas) y los metadatos geométricos en representaciones vectoriales de alta dimensión.
 - El almacenamiento de dichos vectores en una base de datos vectorial (vector store). Para este fin, se ha seleccionado Chroma DB por su eficiencia y su capacidad de operar localmente, garantizando la privacidad de los datos.

En tiempo de ejecución, el sistema procesa una consulta del usuario siguiendo estos pasos:

- Un recuperador (Retriever) vectoriza la pregunta y realiza una búsqueda de similitud en Chroma DB para obtener los k fragmentos de información más relevantes.
- Finalmente, un LLM Chain, que integra un modelo de última generación (GPT-4o) con una plantilla de prompt controlada, recibe la consulta original y el contexto recuperado. Con esta información, genera un dictamen estructurado que es trazable, ya que fundamenta su respuesta citando explícitamente los artículos normativos recuperados que justifican su conclusión.

Esta arquitectura modular permite al sistema validar el cumplimiento normativo de manera eficaz, combinando la interpretación semántica de las reglas con el análisis de la geometría extraída de los planos.

8 Metodología

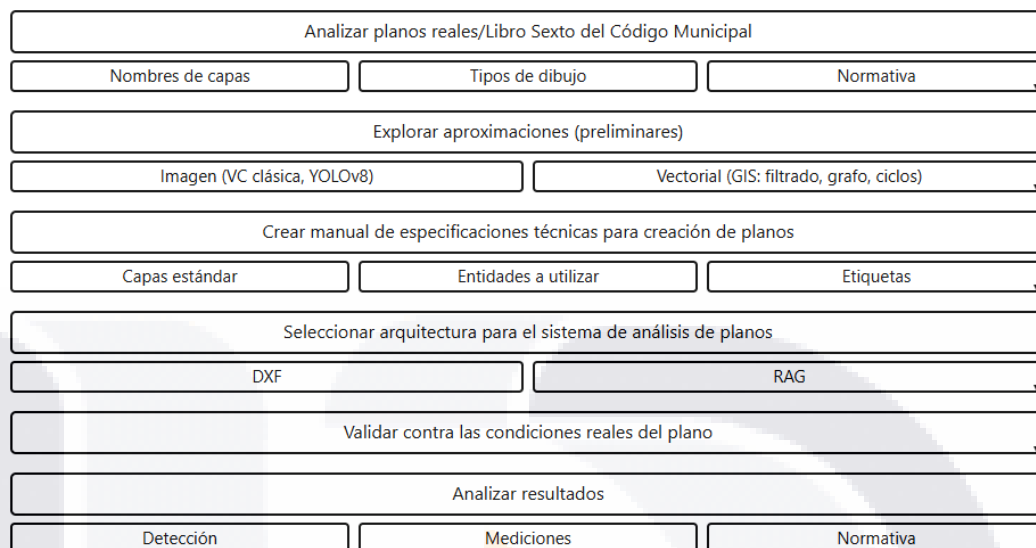


Fig. 10 Diagrama de la metodología

A continuación, se describen los pasos de la metodología para esta investigación, mostrada en el diagrama de la fig. 10.

1. **Analizar planos reales y el Libro Sexto del Código Municipal:** Se realizó el análisis de una muestra de planos arquitectónicos digitales provenientes de diferentes arquitectos con el propósito de identificar la variabilidad existente en su estructura interna. En este análisis se examinaron los nombres de capas utilizados, los tipos de dibujo empleados para representar muros, puertas y ventanas, así como la ubicación de los textos que identifican los espacios. Paralelamente, se analizó el Libro Sexto del Código Municipal de Aguascalientes para identificar las disposiciones normativas aplicables a los espacios arquitectónicos, las cuales sirvieron como base para la verificación automática de cumplimiento.
2. **Explorar aproximaciones metodológicas preliminares:** Se llevó a cabo la exploración de aproximaciones metodológicas con el objetivo de determinar el enfoque más robusto y preciso para la automatización de la verificación normativa. Esta etapa se dividió en: el análisis basado en imágenes y el análisis basado en geometrías vectoriales (GIS).

3. **Crear manual de especificaciones técnicas para la elaboración de planos:** Se elaboró un manual de especificaciones técnicas (Anexo A) que define la nomenclatura obligatoria de capas, las entidades gráficas a utilizar y el formato de las etiquetas de habitación. Este manual busca estandarizar la representación de los elementos arquitectónicos en los archivos DXF, garantizando la coherencia necesaria para el procesamiento vectorial y la interpretación automática de la información geométrica.
4. **Seleccionar arquitectura para el sistema de análisis de planos:** Se seleccionó una arquitectura compuesta por dos componentes principales: el módulo DXF, encargado del procesamiento geométrico y detección de habitaciones, y el módulo RAG, responsable de la interpretación semántica de la normativa. La arquitectura integra las fases de entrada, procesamiento, almacenamiento, validación y salida, permitiendo la comunicación entre los componentes para ejecutar el flujo completo de verificación normativa.
5. **Validar contra las condiciones reales del plano:** Se validaron y compararon las mediciones extraídas de los planos con los requisitos establecidos en el Libro Sexto. Esta validación se realizó utilizando consultas semánticas del módulo RAG, que recupera los valores normativos relevantes y los contrasta con las dimensiones y características obtenidas del archivo DXF.
6. **Analizar resultados:** Se analizaron los resultados obtenidos a partir del sistema. El análisis incluyó la verificación de la detección de espacios, la precisión de las mediciones geométricas y el cumplimiento normativo de cada habitación. Los resultados permitieron evaluar la efectividad del sistema propuesto para automatizar la verificación de planos arquitectónicos digitales en relación con las disposiciones del Libro Sexto del Código Municipal.

9 Desarrollo

Antes de consolidar la arquitectura final, se llevó a cabo una serie de exploraciones metodológicas para determinar el enfoque preciso para la automatización de la verificación normativa. Se experimentó con dos paradigmas: el análisis basado en imágenes (ráster) y el análisis basado en geometrías vectoriales (GIS).

9.1 Primera Aproximación: Análisis Basado en Imágenes

La hipótesis inicial partía de la ubicuidad de los planos en formato PDF, que en la práctica son representaciones visuales (imágenes o ráster) del proyecto. El objetivo era desarrollar un sistema capaz de "leer" estos planos de la misma forma que lo haría un inspector humano.

9.1.1 Mapeo Manual de Reglas y Procesamiento con Visión por Computadora Clásica

El primer prototipo consistió en un flujo de trabajo que combinaba una base de conocimiento manual con técnicas de visión por computadora.

1. Base de Conocimiento Manual: Se realizó un análisis del Libro Sexto del Código Municipal, extrayendo y codificando manualmente las reglas cuantitativas (e.g., dimensiones mínimas, proporciones de ventanas) en una hoja de cálculo de Excel como se muestra parcialmente en la fig. 11 Este artefacto sirvió como nuestra primera base de conocimiento estructurada.

ARTÍCULOS DEL CÓDIGO MPAL QUE DEBEN CUMPLIR LAS CONSTRUCCIONES (ARTÍCULO 632)				
		CONCEPTO	SUBCLASIFICACIÓN	1a. CONDICIÓN
	ARTÍCULO 629	Reglas a cumplir para obras de construcción (Las que señala el Libro sexto)	Reglas para obtención de licencia y permisos	Construcción en vía pública
		DISPOSICIONES GENERALES		
Disposicion	ARTÍCULO 630	Personas que intervienen en una construcción	Secretaría Desarrollo Urbano Mpio de Ags.	Propietario
CAPÍTULO I	ARTÍCULO 636	PERITOS que otorgan responsiva para tramite de Lic construcción	CLASIFICACIÓN DE PERITOS	Perito Responsable de obra
	ARTÍCULO 647	SOLICITUD DE LICENCIA DE CONSTRUCCIÓN	Resoluciones de expedición o rechazo	RESPUESTA <= 10 DIAS HÁBILES
	ARTÍCULO 648	Autorización de licencia de construcción	Uso Suelo, distinto al establecido o autorizado	Constancia de Alineamiento y Compatibilidad Urbanística
	ARTÍCULO 653	Autorización licencia de Autoconstrucción (Habitacional) Sin costo	Personas físicas de escasos recursos economicos	Perito Responsable de obra
TÍTULO SEGUNDO	ARTÍCULO 654	vigencia de las licencias de construcción	CONSTRUCCION DE HASTA 60 M2	la vigencia será < 6 meses
			CONSTRUCCION DE 61 A 300 M2	la vigencia máxima será < 12 meses
			CONSTRUCCION DE 300 A 1000 M3	la vigencia máxima será < 24 meses
			CONSTRUCCION MAYOR A 1000 M2	la vigencia máxima será < 36 meses
	ARTÍCULO 659	LICENCIAS ESPECIALES	FINCAS AFECTADAS POR DISCONTINUIDADES GEOLOGICAS	Perito Responsable de Obra, Perito Especializado en Estructuras
	ARTÍCULO 660	LICENCIAS ESPECIALES	Propiedad en condominio	oficio autorización firmados por la administración del condominio
	ARTÍCULO 662	LICENCIAS CONSTRUCCIONES MAYORES A 60 M2	DOCS COMPLEMENTO TRÁMITE LIC CONSTR	ACREDITAR PROPIEDAD, PREDIAL, AGUA, ALINEAMIENTO Y NUL
	ARTÍCULO 663	LICENCIAS PARA CONSTRUCCION DE CASAS EN SERIE	Memoria descriptiva indicando acatados	factibilidad de servicios, agua potable y alcantarillado
TÍTULO CUARTO	ARTÍCULO 673	CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	HABIT, SERVICIOS, IND., PARQUES, INFRAESTRUCTURA	HAB. UNIFAMILIAR
TÍTULO CUARTO	ARTÍCULO 674	Elementos arquitectónicos en el perfil de una fachada	Las pilastras, sardineles, rejas y marcos de puertas y ventanas	Situados a una altura < de 250 centímetros
			Los balcones	Situados a una altura > 250 centímetros
			Los toldos	Situados a una altura <= 220 centímetros
TÍTULO CUARTO	ARTÍCULO 676	DIMENSIONES PARA HABITABILIDAD Y FUNCIONAMIENTO	RECAMARA PRINCIPAL	AREA >= 7.00 M2
TÍTULO CUARTO			RECAMARA (ADICIONALES)	AREA >= 6.00 M2
TÍTULO CUARTO			SALA O ESTANCIA	AREA >= 7.30 M2
TÍTULO CUARTO			COMEDOR	AREA >= 6.30 M2
TÍTULO CUARTO			SALA-COMEDOR (INTEGRADOS)	AREA >= 13.80 M2
TÍTULO CUARTO			COCINA	AREA >= 3.00 M2
TÍTULO CUARTO			COCINA INTEGRADA A SALA-COMEDOR	
TÍTULO CUARTO			CUARTO DE LAVADO	AREA >= 3 M2
TÍTULO CUARTO			CUARTO DE ASEO, DESPENSA Y SIMILARES	
TÍTULO CUARTO			BAÑOS Y SANITARIOS	

Fig. 11 Ejemplo de la hoja de cálculo utilizada para la estructuración manual de las reglas del Código Municipal.

2. Procesamiento de Imágenes: Se desarrolló que luce como se muestra en la fig. 12, una aplicación en Python, denominada "Procesador de Planos", que convertía los planos PDF a imágenes de alta resolución. Sobre estas imágenes, se aplicaron algoritmos de OpenCV para la detección de características:
 - Conversión a escala de grises y aplicación del detector de bordes Canny para resaltar los contornos.

- Uso de la Transformada de Hough para identificar líneas rectas, correspondientes a muros y ejes.
- Detección y filtrado de contornos para aislar áreas rectangulares que pudieran corresponder a habitaciones o al cuadro de referencia del plano.

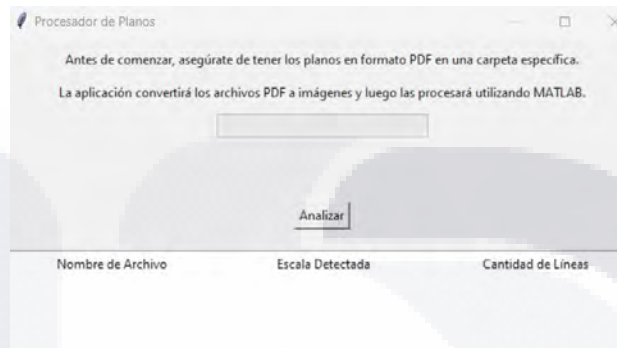


Fig. 12 Interfaz gráfica de usuario (GUI) de la aplicación “Procesador de Planos”

Pero, aunque este enfoque lograba segmentar secciones generales del plano no tenía precisión métrica. La conversión a imagen y la detección de bordes introducían distorsiones y errores de píxeles que hacían imposible extraer mediciones con la fiabilidad milimétrica que exige una validación normativa.

9.1.2 Detección de Objetos con Redes Neuronales (YOLOv8)

Se exploró también un enfoque basado en aprendizaje profundo.

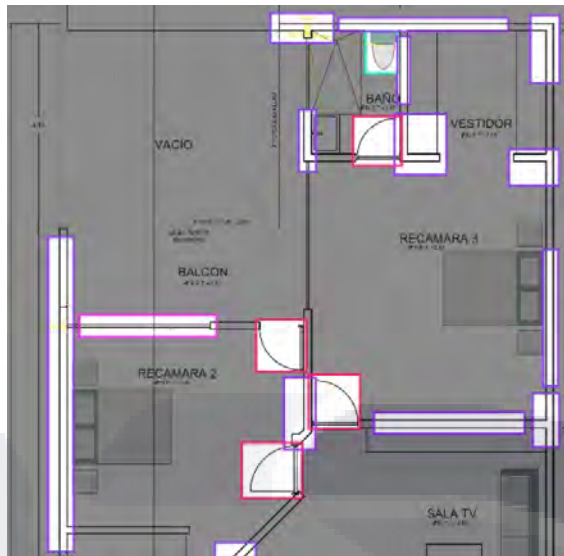


Fig. 13 Proceso de anotación manual de un plano para la creación del Ground Truth, identificando con cuadros delimitadores los objetos de interés para el entrenamiento del modelo.

1. Creación del Ground Truth: Utilizando la plataforma Roboflow, se anotó manualmente un conjunto de planos, etiquetando elementos como muros, puertas y ventanas para crear un conjunto de datos de entrenamiento como se muestra en la fig. 13 (ground truth).
2. Entrenamiento del Modelo: Se entrenó un modelo de detección de objetos YOLOv8 sobre este conjunto de datos.

El modelo no alcanzó una precisión en la clasificación e identificación de habitaciones. Los resultados no eran semánticamente correctos ni métricamente imprecisos.

9.2 Segunda Aproximación: Enfoque Vectorial (GIS)

Después de intentar con métodos basados en imágenes se concluyó que el problema no residía en el algoritmo de reconocimiento, sino en la representación de los datos. La conversión a ráster destruía la información métrica precisa contenida en los formatos de diseño originales (DWG/DXF). Por tanto, la investigación se dirigió hacia el procesamiento directo de los datos vectoriales.

9.2.1 El Desafío de la Estandarización

El análisis de los archivos DWG nativos reveló un nuevo problema: la ausencia total de estándares en la nomenclatura y organización de las capas. Esta variabilidad hacía imposible crear un algoritmo de extracción universal.

La solución fue la creación de una guía técnica de estandarización, un manual que define lineamientos estrictos para la elaboración de planos, incluyendo una nomenclatura de capas obligatoria, reglas de modelado y requisitos de etiquetado. Este documento se convirtió en un pilar del sistema.

9.2.2 Procesamiento con Herramientas GIS

Con los planos estandarizados, fue posible implementar un flujo de trabajo robusto utilizando las capacidades de los Sistemas de Información Geográfica (GIS), replicado posteriormente en la metodología final con bibliotecas como Shapely.

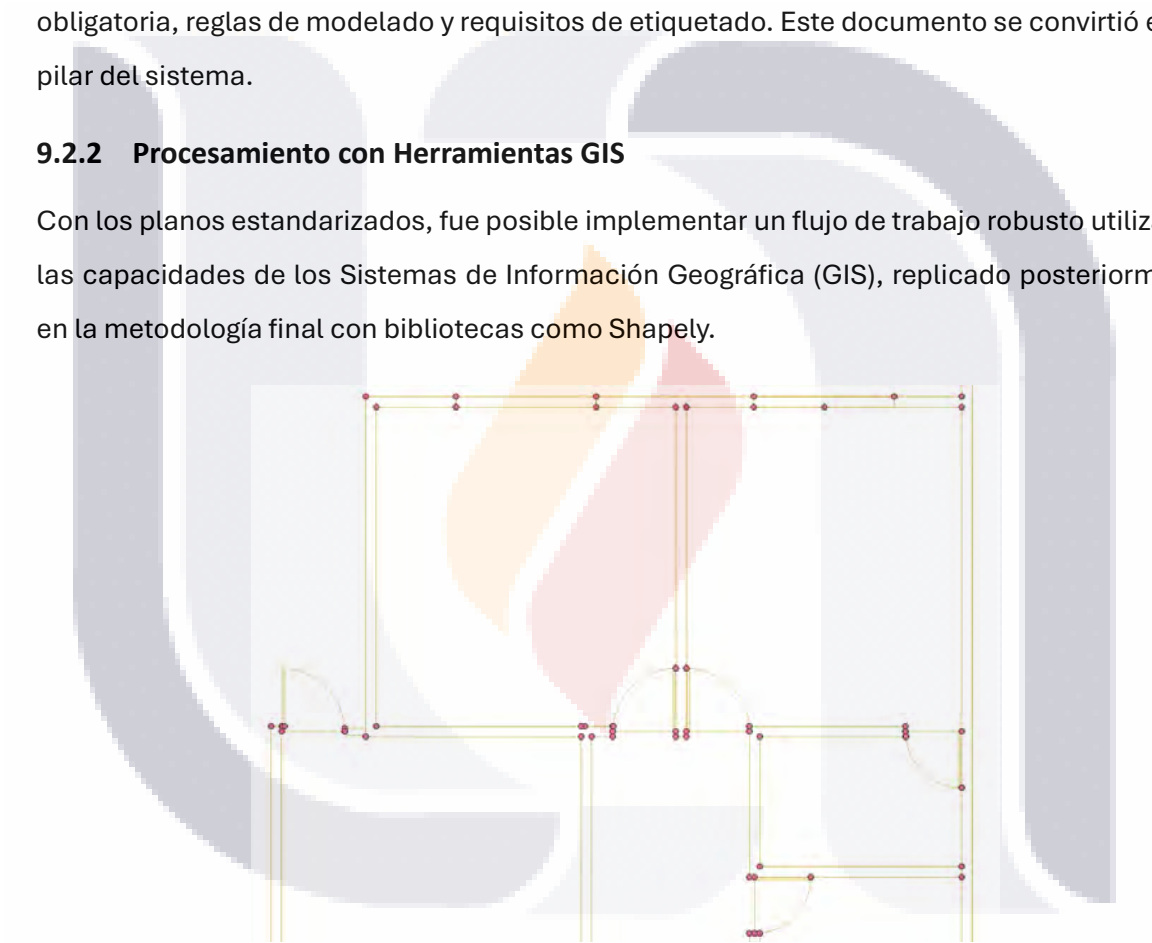


Fig. 14 Representación vectorial de un plano arquitectónico estandarizado como resultado del filtrado de capas en un entorno GIS.

1. Extracción y Validación Vectorial: Se desarrolló un proceso que filtraba las capas estandarizadas (muros, puertas) y utilizaba algoritmos de GIS para validar y corregir geometrías cuyo resultado se aprecia en la fig. 14.

2. Construcción de Grafo Topológico: Utilizando la biblioteca NetworkX, se construyó un grafo donde las intersecciones de los muros eran los nodos y los segmentos de muro, las aristas.
3. Detección de Espacios Cerrados: Sobre este grafo, se aplicó el algoritmo cycle_basis para detectar ciclos, los cuales corresponden topológicamente a los espacios cerrados (habitaciones). A partir de estos ciclos, se generaron los polígonos finales.

Este enfoque vectorial resolvió el problema de la precisión métrica, permitiendo cálculos geométricos exactos y, por tanto, una validación normativa fiable.

9.3 Conclusión de los Experimentos Preliminares

La evolución de la metodología demostró que, para la tarea de verificación normativa, los enfoques basados en el análisis de imágenes (tanto clásicos como de aprendizaje profundo) son complejos para preservar la precisión métrica.

9.4 Descripción de la Arquitectura

Como se ilustra en la fig. 11, la arquitectura del sistema se ha estructurado en cinco fases secuenciales: 7.1) Entrada de Datos, 7.2) Procesamiento, 7.3) Almacenamiento, 7.4) Validación y 7.5) Salida. A continuación, se detalla cada una de estas fases.

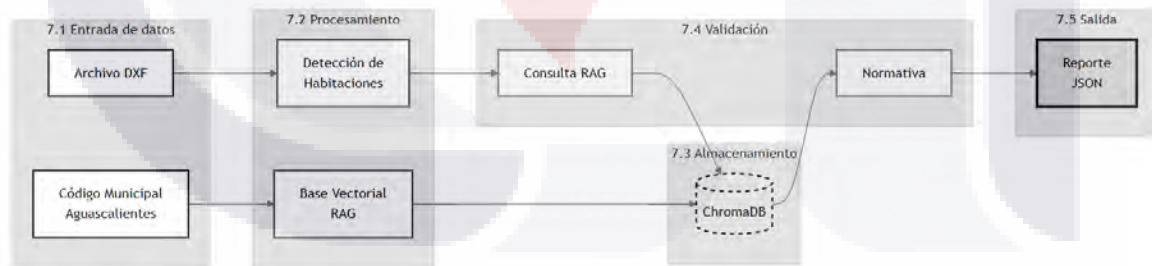


Fig. 15 Arquitectura del Sistema

9.5 Entrada de Datos

La primera fase del sistema, destacada en la región izquierda de la fig. 15, constituye el punto de entrada de datos para todo el proceso de validación. Por un lado, el sistema recibe el archivo DXF que contiene la representación digital del plano arquitectónico, mientras que por otro lado se

carga el texto completo del Libro Sexto del Código Municipal de Aguascalientes que servirá como base normativa para las validaciones.

Archivo DXF

Un archivo DXF contiene miles de entidades (líneas, arcos, cotas, etc.) en diferentes capas. La mayoría son irrelevantes para identificar habitaciones. Después de analizar al menos 50 planos se encontró la ausencia de estándares identificando las siguientes variaciones:

Tabla 1 Variabilidad encontrada en planos municipales

Aspecto	Variaciones detectadas
Nomenclatura de capas	+15 nombres diferentes para muros
Representación de muros	Líneas simples vs polígonos
Ubicación de textos	30% fuera de habitaciones
Formato de puertas	8 representaciones distintas

Esta variabilidad hacía imposible el procesamiento automático, requiriendo el desarrollo de especificaciones técnicas estrictas. Se identificaron que elementos eran necesarios para la detección automática de habitaciones, siendo los siguientes los más importantes:

- Muros como polígonos cerrados en capa MUROS
- Textos de habitación en capa TEXTOS_HABITACION
- Puertas con representación LINE + ARC
- Ventanas en capa CANCELERIA y HERRERIA

Para garantizar la correcta elaboración y posterior procesamiento automático de los planos arquitectónicos, se consolidaron las especificaciones en un manual técnico (localizado en la sección) dirigido a los profesionales responsables de su creación. Este manual define criterios y lineamientos claros, enfocados en la uniformidad y precisión del dibujo técnico. El manual determina la obligatoriedad de trabajar con una estructura de capas definidas con una nomenclatura específica. Esta organización permite identificar y diferenciar de manera clara los distintos elementos del plano, facilitando su interpretación y procesamiento posterior.

Código Municipal de Aguascalientes

Paralelamente, el Libro Sexto del Código Municipal de Aguascalientes se procesa desde su formato original PDF a texto plano, preservando la estructura de artículos y manteniendo la integridad del contenido normativo. Este documento contiene artículos que establecen los requisitos mínimos para cada tipo de espacio habitable, desde dimensiones y áreas hasta especificaciones de ventilación e iluminación, etc.

9.6 Procesamiento

La segunda fase identificada en la fig. 15 como Procesamiento, ejecuta dos procesos que operan de manera independiente pero complementaria. El primero se enfoca en la detección de habitaciones a partir del archivo DXF, mientras que el segundo construye la base vectorial del código municipal para permitir búsquedas semánticas posteriores.

El proceso de detección de habitaciones comienza con la extracción de entidades geométricas del archivo DXF. Cada tipo de entidad requiere un tratamiento específico según su naturaleza.

9.6.1 Detección de Habitaciones

El proceso comienza con la lectura del archivo DXF usando la librería ezdxf. El sistema aplica un filtro selectivo basado en palabras clave predefinidas para identificar las capas relevantes:

- Muros: capas que contienen la palabra "MURO"
- Puertas: capas con la palabra "PUERTA"
- Ventanas: capas con la palabra "CANCELERIA" o "VENTANA"
- Textos: capa llamada "TEXTOS_HABITACION" para identificación de espacios

Solo se procesan las entidades pertenecientes a estas capas, ignorando elementos decorativos, mobiliario y otros detalles no estructurales. Todas las entidades complejas (LINE, LWPOLYLINE, POLYLINE, ARC) se convierten en objetos LineString de la librería shapely, esta conversión es necesaria para habilitar las operaciones geométricas posteriores.

A continuación, se crea una red continua de muros necesaria para la identificación de espacios, de manera que el sistema debe "cerrar" temporalmente las aberturas de puertas y ventanas:

Para puertas cuya representación puede observarse en fig. 16:

- El sistema identifica bloques INSERT que contienen un arco (ARC) y una hoja (LINE)
- Verifica la coincidencia entre los extremos del arco y la hoja usando una tolerancia de 5 centímetros
- Cuando encuentra una coincidencia, genera un "tapón virtual" - una línea que conecta el extremo opuesto con una extensión adicional de 1 centímetro (EXTEND=0.01) para garantizar el cierre completo
- Estos tapones se etiquetan como "PUERTA_FILL" y se agregan a la red de muros

Para ventanas:

El proceso es más directo - las geometrías de ventana existentes se reutilizan directamente como tapones, etiquetándolas como "VENTANA_FILL" y agregándolas a la red de muros sin modificación adicional.

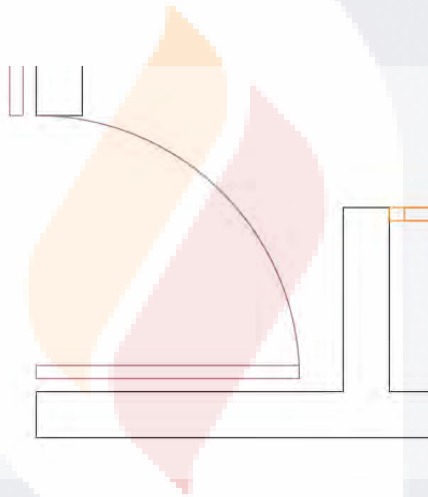


Fig. 16 Representación de una puerta con arco de abatimiento".

Cuando una puerta interrumpe un muro, se generan dos puntos en los que el muro "termina" temporalmente. Para lograr identificar correctamente el espacio completo de una habitación, es necesario conectar de manera temporal esos puntos, sin perder la información de que en ese lugar existe una puerta.

Para resolver esta problemática se utilizó un tapón virtual que puede visualizarse en la fig. 17, se entiende como una línea temporal que conecta los dos extremos donde el muro ha sido interrumpido por una puerta. Por ejemplo, en un plano donde una habitación rectangular tiene una puerta de 90 centímetros de ancho, el muro se interrumpe en dos puntos para permitir el

paso. El tapón virtual simula cerrar imaginariamente la puerta, permitiendo así identificar el perímetro completo del espacio.

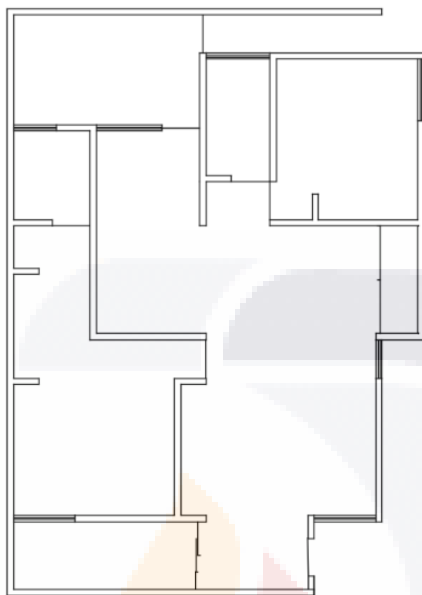


Fig. 17 Representación de un plano arquitectónico después de aplicar el método de "tapones virtuales".

Para generar este tapón virtual se utilizó el método de film-buffer mediante:

- *Unión de geometrías:* Todas las líneas de muros y los tapones virtuales se combinan en una única red geométrica usando operaciones de unión
- *Aplicación del buffer:* Se aplica un buffer positivo de 2 centímetros a toda la red. Esta operación "engrosa" cada línea, cerrando automáticamente pequeños espacios o discontinuidades entre elementos que no estaban perfectamente conectados
- *Extracción por diferencia:* Se crea un marco rectangular que engloba todo el plano. Los espacios habitables se obtienen mediante una operación de diferencia. El resultado son los "vacíos" dentro de la red de muros, que por definición corresponden a las habitaciones
- *Filtrado del exterior:* El polígono de mayor área siempre corresponde al espacio exterior del edificio y se elimina de la lista de espacios detectados

Después de aplicar la técnica film-buffer cuyos resultados pueden apreciarse en la fig. 18, el sistema debe identificar y extraer los espacios habitables del sólido resultante. Este proceso busca los vacíos dentro del sólido.

Imagine un molde para hacer galletas, la masa es el sólido que creamos con los muros expandidos, y las galletas son los espacios que queremos detectar. Pero en nuestro caso, no cortamos la masa; extraemos los espacios donde NO hay masa. El proceso funciona así:

1. Se crea un rectángulo que engloba todo el plano con 1 metro de margen
2. Se resta el sólido de muros de este rectángulo
3. Lo que queda son los espacios interiores y el exterior

El resultado inicial incluye tanto las habitaciones como el espacio exterior alrededor del edificio. Para separarlos, el sistema analiza la topología de cada polígono:

- *Espacios exteriores:* Tocaban el borde del rectángulo envolvente
- *Espacios interiores:* Completamente contenidos dentro del sólido

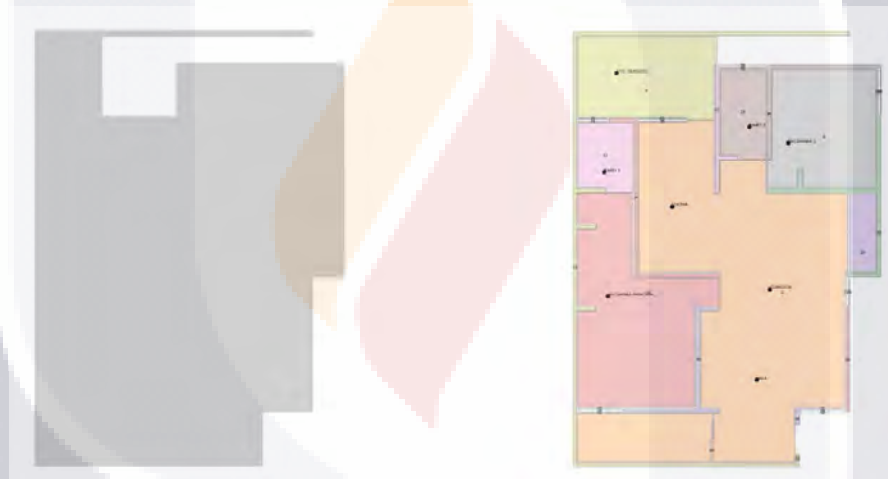


Fig. 18 Resultados del método Film-Buffer para la extracción de espacios.

Según el manual técnico, los textos deben estar dentro de sus espacios correspondientes en la capa TEXTOS_HABITACION, usando exactamente los términos estandarizados encontrados en él.

El sistema itera sobre cada polígono detectado y verifica qué textos están contenidos espacialmente dentro de sus límites. Si el punto de inserción de un texto está dentro de un polígono, ese texto se asigna como identificador del espacio.

Para cada espacio identificado, se calculan las siguientes propiedades:

- Área: Directamente desde el atributo área del polígono.
- Dimensiones: Se obtienen del rectángulo envolvente, no de las aristas del polígono. Esto proporciona el ancho y largo del espacio.
- Ventilación: Se estima mediante la intersección de los rectángulos envolventes de las ventanas con el espacio, aplicando un buffer de 15 centímetros para capturar ventanas cercanas al perímetro.
- Accesos: El ancho de las puertas se determina por el rectángulo envolvente de los elementos que intersecan con el espacio.

9.7 Almacenamiento

La arquitectura para la persistencia de datos y la recuperación fue evolucionando para la optimización del sistema. En un inicio se empleaba una cache secundaria de SQLite que almacenaba resultados previos, pero al final fue eliminada. Esta decisión se tomó tras la optimización del motor RAG a partir de varios experimentos cuyos resultados son mostrados en la Tabla 2, el cual demostró ser lo suficientemente eficiente para realizar consultas en tiempo real sin una degradación significativa del rendimiento. La eliminación de la caché no solo simplifica la arquitectura, sino que también garantiza que cada consulta se resuelva con la información más precisa disponible en la base vectorial, eliminando el riesgo de utilizar datos obsoletos.

Una vez implementado el prototipo funcional del sistema RAG, se procedió a una fase de optimización iterativa. El objetivo era mejorar sistemáticamente la precisión, fiabilidad y eficiencia del motor de recuperación y generación. Para ello, se evaluó el impacto de diversos hiper parámetros y estrategias de procesamiento, culminando en un modelo mejorado.

Tabla 2 Comparativa de Parámetros del Motor RAG (Versión Inicial vs. Final)

Parámetro / Característica	Sistema Inicial (Prototipo)	Sistema Final (Optimizado)	Justificación de la Mejora
Estrategia de Segmentación	División por artículo	Segmentación Semántica	Los fragmentos (chunks) se basan en la coherencia semántica del texto, no en separadores arbitrarios, agrupando tablas y excepciones con su artículo principal.
Categorización de Chunks (fragmentos)	Llamada a un LLM (Gemini) por fragmentos	Determinista (palabras clave)	Se eliminaron cientos de llamadas a la API, reduciendo drásticamente el tiempo y el costo de la indexación de documentos.
Umbral de Similitud	0.5	0.75	Se elevó el umbral para que el sistema solo responda si encuentra un fragmento con muy alta similitud semántica, prefiriendo no responder a inventar.

Top K (Búsqueda Vectorial)	10		Se reduce el número de documentos recuperados para entregar al LLM un contexto más enfocado y evitar 5 información irrelevante o contradictoria.
Temperatura del LLM	0.1		Se ajustó a cero para eliminar la aleatoriedad en la generación. El objetivo es la extracción precisa de 0 información, no la creatividad.
Tamaño Máximo del Contexto	8000 caracteres	4000 caracteres	Un contexto más conciso, producto de una mejor recuperación, ayuda al LLM a centrarse en la información más pertinente.
Manejo de Sinónimos	Codificados en el script principal	Externalizados a un archivo sinonimos.yml	La configuración se desacopla del código, facilitando su actualización y gestión sin necesidad de modificar la lógica del programa.

Se diseño un sistema de "Preguntas y Respuestas" capaz de consultar el libro sexto del código municipal de forma precisa, confiable y sin alucinaciones. La arquitectura del sistema se divide en dos procesos que son: una fase de indexación de conocimiento (ejecutada de forma asíncrona) y una fase de consulta en tiempo real.

El primer proceso consiste en preparar y estructurar el reglamento para que sea comprensible y consultable por el sistema de IA. Este proceso comienza con la consolidación del reglamento completo en un único archivo de texto, estableciendo una fuente de verdad inmutable. A continuación, en lugar de una división arbitraria por párrafos, se aplica una técnica de segmentación semántica. Este paso es fundamental, ya que agrupa las oraciones basándose en su similitud de significado, asegurando que la información contextual clave como tablas, excepciones o aclaraciones permanezca unida a la regla principal a la que se refiere, preservando así la integridad contextual del documento.

Una vez segmentado el texto, cada fragmento se somete a un proceso de vectorización semántica utilizando el modelo text-embedding-004 de Google. Este paso traduce el contenido textual de cada fragmento a un vector numérico que encapsula su significado. Finalmente, estos vectores, junto con su texto original correspondiente, se indexan en una base de datos vectorial ChromaDB. Este repositorio, funciona como el "cerebro" del sistema, permitiendo búsquedas por similitud semántica a alta velocidad.

El segundo proceso se activa cada vez que el sistema necesita validar un parámetro de un plano arquitectónico. Este flujo está diseñado para transformar una entrada ambigua en una consulta precisa y obtener una respuesta verificable.

El sistema utiliza un repositorio de plantillas de consulta para formular una pregunta específica, detallada y sin ambigüedades. Por ejemplo, combina el término "BAÑO" con el parámetro "area_min_m2" para construir una pregunta precisa como: *“Busca en el código de construcción de Aguascalientes el valor para: - Tipo de habitación/local: BAÑO - Propiedad: area_min_m2”*.

Esta pregunta formulada se vectoriza y se utiliza para ejecutar la búsqueda en ChromaDB. Aquí es donde se aplican los parámetros optimizados: se recuperan los 5 fragmentos más similares (Top K=5) que superen un estricto umbral de confianza de 0.75. Este riguroso filtrado garantiza que solo el contexto de la más alta relevancia sea recuperado.

Finalmente, los fragmentos recuperados se inyectan en una consulta final que se envía al LLM (Gemini Pro). Las instrucciones para el modelo son explícitas: actuar como un experto, basarse única y exclusivamente en el contexto proporcionado y devolver una respuesta estructurada en formato JSON con claves específicas ('valor', 'unidad', 'artículo', 'extracto'). Al fijar la temperatura del modelo en 0.0, se elimina la creatividad y la aleatoriedad, transformando al LLM en un motor de extracción de datos determinista. Este proceso de múltiples etapas es lo que simula que el sistema funcione como un experto confiable y no como un generador de texto impredecible.

9.8 Validación

Antes de procesar las validaciones, cada espacio detectado pasa por un proceso determinístico que convierte el texto a mayúsculas, elimina números y caracteres especiales mediante expresiones regulares, y luego mapea el resultado a un nombre canónico usando un archivo que contiene sinónimos. Este mapeo garantiza que etiquetas como BAÑO_1, use el término “BAÑO” para las consultas normativas.

La interpretación de requisitos sigue un flujo estructurado. Para cada espacio normalizado, el sistema consulta cuatro reglas normativas predefinidas mediante plantillas almacenadas. El sistema reemplaza el marcador {label} con el nombre canónico del espacio y ejecuta una la recuperación de la siguiente manera:

- *Verificación de caché:* El sistema primero busca en un caché en memoria (no en SQLite) si ya existe una respuesta para esa consulta específica. Este caché solo persiste durante la ejecución del servidor.
- *Búsqueda vectorial con filtrado:* Si no hay caché, realiza una búsqueda en la base de datos vectorial recuperando los 5 fragmentos más relevantes con una similitud de 0.5.
- *Extracción determinística:* Antes de consultar al LLM, el sistema intenta extraer el valor mediante expresiones regulares predefinidas. Si encuentra una coincidencia, asigna una confianza alta de 0.9 y extrae directamente el valor, unidad y artículo del fragmento.

9.9 Salida

Finalmente, la fase 6.5 Salida consolida los resultados generando un reporte JSON estructurado para cada espacio detectado. El reporte contiene tres secciones principales:

Mediciones geométricas (siempre presentes):

- ID del espacio (número secuencial)
- Tipo de espacio normalizado (o "DESCONOCIDO" si no se identificó)
- Área calculada en metros cuadrados
- Perímetro en metros
- Dimensiones del rectángulo envolvente (ancho y largo)
- Área de ventilación estimada
- Ancho de accesos detectados

Listas de validación (arreglos de cumplimientos y violaciones):

- Lista de parámetros que cumplen con la normativa
- Lista de parámetros que no cumplen
- Arreglos vacíos si no hay validaciones aplicables

Para cada parámetro validado se incluye:

- Valor medido y valor requerido
- Unidad de medida
- Resultado de la comparación (cumple/no cumple)
- Artículo de referencia (si se extrajo)

- Nivel de confianza de la extracción
- Indicador si requiere revisión manual

Los espacios detectados siempre se incluyen en el reporte final, incluso si no tienen validaciones aplicables. Esto garantiza visibilidad completa de la detección geométrica:

- Espacios con nombre, pero sin reglas: solo reportan mediciones
- Espacios sin nombre ("DESCONOCIDO"): incluyen mediciones con arreglos de validación vacíos
- Espacios donde el RAG no encontró valores: se reportan sin validaciones

La API devuelve esta estructura completa, permitiendo al cliente distinguir entre espacios sin validación (por falta de datos normativos) y espacios con violaciones detectadas

10 Análisis de Resultados

La evaluación del sistema se realizó mediante el procesamiento de 4 archivos DXF elaborados por un equipo de tres arquitectos externos siguiendo el manual de procedimientos desarrollado para estandarizar los planos. Se compararon las detecciones contra la verdad de cada arquitecto sobre los espacios y sus medidas que se encontraban en sus planos.

La Tabla 3 presenta el resumen global de la evaluación realizada sobre el sistema de validación automática. Como se puede observar en esta tabla, el sistema procesó 4 archivos DXF que contenían un total de 31 habitaciones reales (identificadas manualmente como referencia). El resultado principal muestra que el sistema logró detectar correctamente 25 de estas 31 habitaciones, lo que representa una tasa de detección del 80.65%. Las 6 habitaciones no detectadas constituyen los falsos negativos del sistema, es decir, espacios que existían pero que el algoritmo no pudo identificar.

Tabla 3 Resumen General de la Evaluación del Sistema

Concepto	Cantidad	Descripción
Planos analizados	4	Archivos DXF elaborados por arquitectos siguiendo el manual
Total de habitaciones reales	31	Espacios identificados manualmente como verdad fundamental

Habitaciones encontradas correctamente	25	Detecciones del sistema que coinciden con espacios reales
Habitaciones no encontradas	6	Espacios reales que el sistema no logró detectar
Porcentaje de detección (exhaustividad)	80.65%	Proporción de habitaciones reales que fueron detectadas

La Tabla 4 desglosa el rendimiento del sistema para cada uno de los cuatro archivos de prueba. Esta tabla muestra una variabilidad en el desempeño, con dos archivos alcanzando detección perfecta y otros dos mostrando deficiencias importantes. El archivo test-001 y test-003 lograron identificar el 100% de sus habitaciones (7 de 7 y 11 de 11 respectivamente), mientras que test-005 presenta el peor desempeño con solo el 50% de detección (5 de 10 habitaciones).

Tabla 4 Desempeño Detallado por Archivo de Prueba

Archivo	Habitaciones Reales	Encontradas	No Encontradas	Tasa de Detección	Evaluación Cualitativa
test-001.dxf	7	7	0	100%	Rendimiento Perfecto
test-002.dxf	3	2	1	66.70%	Rendimiento Regular
test-003.dxf	11	11	0	100%	Rendimiento Perfecto
test-005.dxf	10	5	5	50%	Rendimiento Deficiente
TOTAL	31	25	6	80.65%	Rendimiento Bueno

La disparidad en los resultados mostrados en la Tabla 2 significa que el sistema es sensible a características específicas de cada plano. Los archivos con rendimiento perfecto (test-001 y test-003) siguen más estrictamente las especificaciones del manual, mientras que test-005, con solo 50% de detección, contiene elementos o configuraciones que el sistema no puede procesar adecuadamente.

La Tabla 5 analiza el rendimiento del sistema según el tipo de espacio arquitectónico. Este análisis se realizó para identificar las fortalezas y debilidades del algoritmo de detección. Como se aprecia en la tabla, existe una clara división entre los tipos de espacios que el sistema detecta de manera correcta y aquellos donde presenta dificultades.

Tabla 5 Capacidad de Detección por Tipo de Espacio Arquitectónico

Tipo de Espacio	Total Existente	Detectados	Tasa de Éxito	Evaluación del Rendimiento
Baños	7	7	100%	Detección Correcta
Cocinas	3	3	100%	Detección Correcta
Salas/Comedores	4	4	100%	Detección Correcta
Cuartos de Lavado	2	2	100%	Detección Correcta
Recámaras	8	6	75%	Detección Buena
Cocheras	3	1	33.30%	Detección Deficiente
Otros espacios	4	2	50%	Detección Regular
TOTAL	31	25	80.65%	Promedio General

Los datos de la Tabla 5 muestran que el sistema tiene un rendimiento bueno con espacios interiores bien definidos como baños, cocinas y salas, logrando una detección del 100% en estos casos. Sin embargo, muestra dificultades significativas con las cocheras, detectando solo 1 de 3 (33.3%). Esta diferencia se debe a que las cocheras suelen ser espacios semiabiertos.

La Tabla 6 destaca los casos donde el sistema muestra la precisión del sistema en sus mediciones. La tabla está ordenada por porcentaje de error, desde el más bajo hasta aproximadamente el 10%.

Tabla 6 Las 10 Mediciones Más Precisas del Sistema

Archivo	Habitación	Parámetro Medido	Valor Sistema	Valor Real
test-003	COCHERA	Lado corto	5.01 m	5.00 m
test-003	CTO_TV	Lado corto	2.68 m	2.70 m
test-003	COMEDOR_COCINA	Lado corto	4.29 m	4.25 m

test-003	PATIO	Área total	4.47 m ²	4.42 m ²
test-003	ESTUDIO	Lado corto	2.81 m	2.85 m
test-001	COCINA	Lado corto	2.40 m	2.44 m
test-002	RECÁMARA PRINCIPAL	Área total	16.76 m ²	17.09 m ²

Los casos presentados en la Tabla 5 demuestran que el sistema puede alcanzar niveles de precisión muy altos, con errores tan bajos como 0.20% (1 centímetro en una medida de 5 metros). Notablemente, el archivo test-003 domina esta lista con 6 de las 10 mediciones más precisas, sugiriendo que ciertas características de este plano favorecen la precisión del sistema.

La Tabla 7 presenta los resultados de las validaciones normativas realizadas por el sistema. Todas las validaciones se refieren al Artículo 676 del Código Municipal de Aguascalientes, que establece un área mínima de 7.00 m² para recámaras. Esta tabla es fundamental para evaluar la capacidad del sistema de determinar correctamente el cumplimiento de las normativas de construcción.

Tabla 7 Resultados de Validación Normativa - Área Mínima de Recámaras

Archivo	Habitación	Norma Aplicada	Área Detectada	Mínimo Legal	Margen	¿Cumple?	Confianza IA
test-001	RECÁMARA PRINCIPAL	Art. 676 - Área mínima	20.00 m ²	7.00 m ²	+13.00 m ²	Sí	90%
test-001	RECÁMARA 2	Art. 676 - Área mínima	11.87 m ²	7.00 m ²	+4.87 m ²	Sí	90%
test-002	RECÁMARA PRINCIPAL	Art. 676 - Área mínima	16.76 m ²	7.00 m ²	+9.76 m ²	Sí	90%
test-003	RECÁMARA 1	Art. 676 - Área mínima	19.19 m ²	7.00 m ²	+12.19 m ²	Sí	90%
test-003	RECÁMARA 2	Art. 676 - Área mínima	7.35 m ²	7.00 m ²	+0.35 m ²	Sí	90%
test-005	RECÁMARA 2	Art. 676 - Área mínima	8.29 m ²	7.00 m ²	+1.29 m ²	Sí	90%

Como se observa en la Tabla 7, es importante notar que todos los casos cumplían la normativa con márgenes positivos (desde $+0.35 \text{ m}^2$ hasta $+13.00 \text{ m}^2$). El caso más crítico fue la RECÁMARA 2 de la test-003 con solo 0.35 m^2 sobre el mínimo, donde un error de medición significativo podría haber resultado en una validación incorrecta.

11 Conclusiones

Se cumplió el objetivo general de desarrollar un sistema inteligente para el análisis y validación automática de planos arquitectónicos conforme al Libro Sexto del Código Municipal de Aguascalientes. El sistema integra técnicas de procesamiento geométrico con inteligencia artificial para realizar validaciones que tradicionalmente requieren revisión manual por parte de expertos.

El primer objetivo específico, relacionado con la detección automática de espacios, fue alcanzado. El algoritmo desarrollado identificó correctamente más del ochenta por ciento de las habitaciones en los planos de prueba, cumpliendo con la meta establecida. Los espacios interiores tradicionales como baños, cocinas y salas fueron detectados consistentemente, mientras que los espacios semiabiertos como cocheras presentaron mayores dificultades, siendo detectados solo en algunos casos. Esta variabilidad en el rendimiento según el tipo de espacio sugiere áreas de mejora para futuras versiones del sistema.

El segundo objetivo específico sobre la construcción del sistema de recuperación semántica fue alcanzado. El sistema logró extraer información relevante del Código Municipal de Aguascalientes mediante búsquedas vectoriales, encontrando los artículos pertinentes para cada tipo de validación solicitada. La implementación con ChromaDB y embeddings permitió realizar búsquedas por significado más que por coincidencia exacta de palabras, lo que resultó efectivo para manejar la complejidad del lenguaje legal.

El tercer objetivo relacionado con la implementación de un sistema RAG se cumplió, el sistema demostró su capacidad para interpretar los requisitos normativos y generar los valores numéricos específicos necesarios para cada tipo de espacio. En todas las pruebas realizadas, el sistema extrajo valores de área mínima requerida y otros parámetros normativos. Sin embargo, es importante mencionar que las pruebas se limitaron principalmente a validaciones

de área mínima, por lo que sería recomendable ampliar la evaluación a otros tipos de requisitos normativos.

El cuarto objetivo específico relacionado con el motor de verificación automática fue alcanzado, se compararon las dimensiones detectadas contra la normativa municipal, generando reportes que identifican tanto cumplimientos como violaciones. Es necesario señalar que los casos evaluados cumplían los requisitos mínimos, por lo que no se pudo probar el comportamiento del sistema en situaciones límite.

Sobre la evaluación del desempeño, el sistema mostró resultados variados. En términos de precisión de detección, se logró identificar la mayoría de las habitaciones con una proporción aceptable de errores. El tiempo de procesamiento se mantuvo dentro de rangos prácticos, tomando menos de medio minuto por plano en la mayoría de los casos, lo que sería adecuado para uso en oficinas municipales. La exactitud de la validación normativa fue completa en los casos probados, aunque la muestra limitada no permite conclusiones definitivas sobre casos más complejos.

La precisión en las mediciones geométricas presentó resultados mixtos. Una parte considerable de las mediciones mostró errores pequeños aceptables para aplicaciones prácticas, mientras que otra proporción presentó desviaciones significativas, especialmente en espacios con múltiples aberturas o geometrías irregulares. Esta variabilidad indica que el sistema puede servir como herramienta de apoyo, pero requiere supervisión humana para casos complejos.

Entre las limitaciones identificadas durante la investigación, el sistema mostró sensibilidad excesiva a la nomenclatura de los espacios, requiriendo coincidencia exacta entre los textos del plano y los términos esperados. También se observó que el rendimiento varía considerablemente según qué tan bien los planos siguen las especificaciones del manual técnico desarrollado, lo que confirma la importancia de la estandarización en los procesos de dibujo digital.

Además, este proyecto representó un aprendizaje técnico profundo en áreas no dominadas previamente. Inicialmente se apostó por el procesamiento de imágenes, experimentando con OpenCV, entrenando un modelo YOLOv8 con anotaciones manuales en Roboflow. Sin

embargo, estos enfoques fallaron en proporcionar la precisión métrica necesaria, lo que obligó a replantear completamente la estrategia.

Esta limitación condujo al procesamiento vectorial introduciendo herramientas especializadas como ezdxf para leer archivos CAD, Shapely para operaciones geométricas. Se descubrieron técnicas como el film-buffer que resultaron fundamentales para detectar espacios cerrados. Paralelamente, la implementación de un sistema RAG con LangChain y ChromaDB representó el primer contacto con arquitecturas de generación aumentada por recuperación.

Más allá del aspecto técnico, el trabajo con tres arquitectos para elaborar los planos de prueba evidenció la importancia del trabajo interdisciplinario. La creación del manual técnico surgió precisamente de esta colaboración, al identificar que, sin estándares claros, ningún algoritmo podría funcionar consistentemente.

12 Trabajo a futuro

En investigaciones futuras se pretende mejorar la precisión de detección en espacios con geometrías complejas, particularmente cocheras y espacios semiabiertos. Esto permitirá alcanzar tasas de detección más uniformes independientemente del tipo de espacio arquitectónico. Si bien el sistema actual funciona adecuadamente para espacios interiores tradicionales, esta mejora permitirá manejar de manera más confiable la variedad completa de espacios presentes en los planos arquitectónicos.

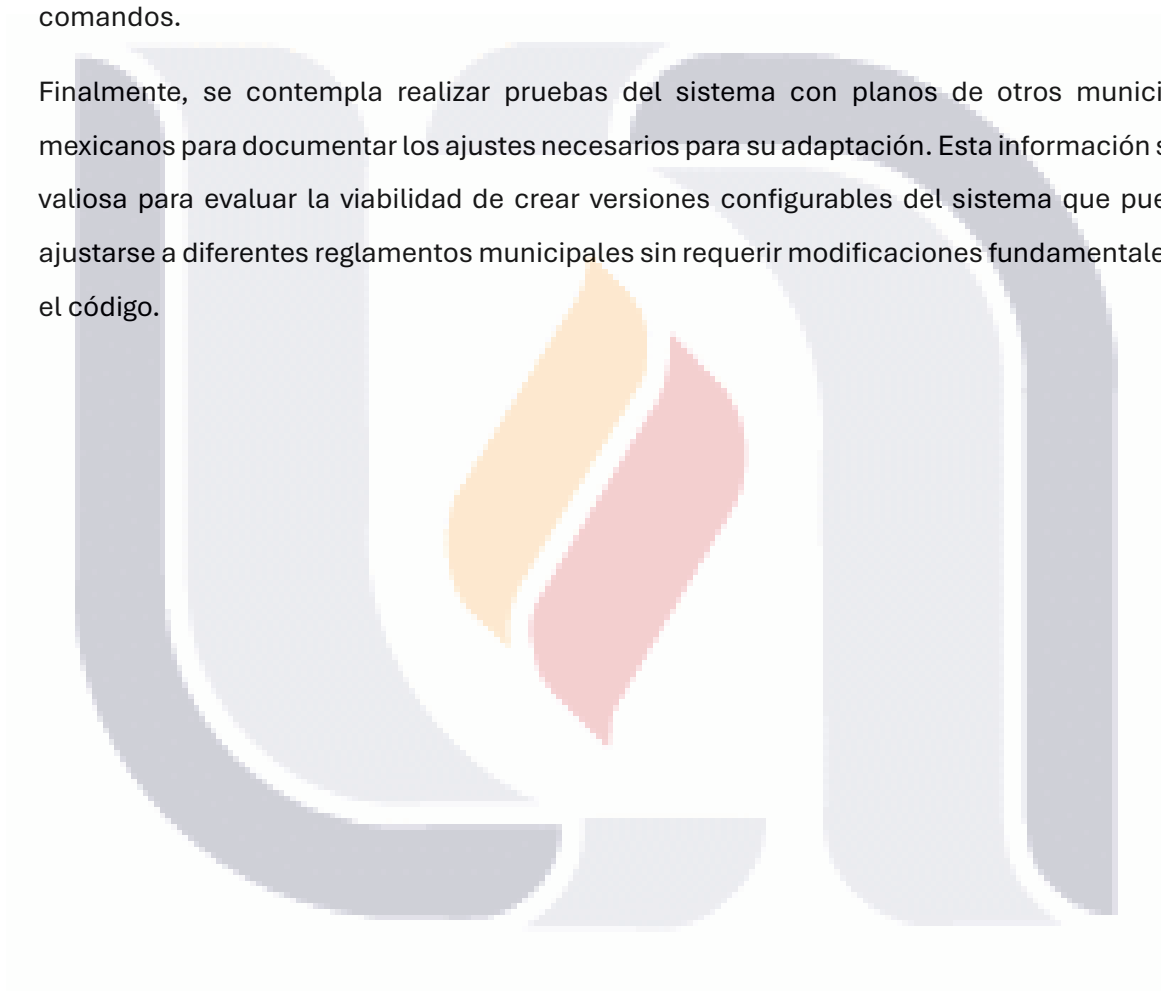
La expansión del conjunto de validaciones normativas representa otra línea importante de investigación. La incorporación de verificaciones adicionales como requisitos de ventilación, iluminación natural y dimensiones de accesos podría proporcionar una evaluación más completa del cumplimiento normativo. Estas validaciones utilizarían la misma arquitectura RAG ya implementada, requiriendo únicamente la extracción de parámetros adicionales del archivo DXF.

De igual forma se espera optimizar los mecanismos de reconocimiento de nomenclaturas para que puedan adaptarse a las variaciones comunes en la práctica arquitectónica. Con las mejoras implementadas, se espera que el sistema pueda reconocer sinónimos y abreviaturas

típicas del campo, evitando que espacios correctamente dibujados no sean detectados por diferencias menores en su denominación.

Se pretende también desarrollar una interfaz gráfica que facilite el uso del sistema por parte de personal municipal sin conocimientos técnicos especializados. Esta interfaz permitirá la visualización de los espacios detectados y presentará los resultados de validación en formatos más accesibles, eliminando la necesidad de interactuar con el sistema mediante línea de comandos.

Finalmente, se contempla realizar pruebas del sistema con planos de otros municipios mexicanos para documentar los ajustes necesarios para su adaptación. Esta información sería valiosa para evaluar la viabilidad de crear versiones configurables del sistema que puedan ajustarse a diferentes reglamentos municipales sin requerir modificaciones fundamentales en el código.



13 Referencias

- Ahmed, S., Liwicki, M., Weber, M., & Dengel, A. (2012). Automatic Room Detection and Room Labeling from Architectural Floor Plans. *2012 10th IAPR International Workshop on Document Analysis Systems*, 339–343. <https://doi.org/10.1109/DAS.2012.22>
- Assem, A. M. (2019). *A GIS-BASED AUTOMATED ARCHITECTURAL SPATIAL ANALYSIS AND REPRESENTATION IN THE CONCEPTUAL DESIGN PHASE* (Vol. 47, Issue 6).
- Ballard, D. H. (1981). Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes. *Pattern Recognition*, 13(2), 111–122. [https://doi.org/10.1016/0031-3203\(81\)90009-1](https://doi.org/10.1016/0031-3203(81)90009-1)
- Biswas, R., & Sil, J. (2012). An Improved Canny Edge Detection Algorithm Based on Type-2 Fuzzy Sets. *Procedia Technology*, 4, 820–824. <https://doi.org/10.1016/J.PROTCY.2012.05.134>
- Boeing, G. (2017). OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks. *Computers, Environment and Urban Systems*, 65, 126–139. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.05.004>
- Cuconasu, F., Trappolini, G., Siciliano, F., Filice, S., Campagnano, C., Maarek, Y., Tonellotto, N., & Silvestri, F. (2024). The Power of Noise: Redefining Retrieval for RAG Systems. *Proceedings of the 47th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 719–729. <https://doi.org/10.1145/3626772.3657834>
- Fanni Salvatore Claudio and Febi, M. and A. G. and N. E. (2023). Natural Language Processing. In S. C. and N. E. Klontzas Michail E. and Fanni (Ed.), *Introduction to Artificial Intelligence* (pp. 87–99). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25928-9_5
- Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Dai, Y., Sun, J., Wang, M., & Wang, H. (2024). *Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey*. <http://arxiv.org/abs/2312.10997>
- Gobierno del Estado de Aguascalientes. (2015). *Codigo Municipal de Aguascalientes*. <https://www.Aguascalientes.Gob.Mx/Sop/Sifagg/Web/Documentos/Codigompalags.Pdf>
- Magdaleno, J. L. (2025). *Reporte de revisión manual por parte del Municipio de Aguascalientes*.
- Mars, M. (2022). From Word Embeddings to Pre-Trained Language Models: A State-of-the-Art Walkthrough. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 17). MDPI. <https://doi.org/10.3390/app12178805>
- Martinez, J. A. (2024). *Planos arquitectónicos para gestión de licencia de construcción*.

Mediano Corona, V. (2023). *Vicente MEDIANO CORONA AUTOMATED CODE COMPLIANCE CHECKS WITH BIM*.

Municipio de Aguascalientes. (2024). *CÓDIGO MUNICIPAL DE AGUASCALIENTES*.
<https://Eservicios2.Aguascalientes.Gob.Mx/Sop/Sifagg/Documentos/CodigoMunicipal.Pdf>.

Padilla Lozano, F., López García, J., & Brisa Campos Aceves, D. (2018). *POLÍTICA PÚBLICA E INFRAESTRUCTURA URBANA EN LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES, 2018*.

Pizarro, P. N., Hitschfeld, N., Sipiran, I., & Saavedra, J. M. (2022). Automatic floor plan analysis and recognition. In *Automation in Construction* (Vol. 140). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104348>

Schönfelder, P., Stebel, F., Andreou, N., & König, M. (2024). Deep learning-based text detection and recognition on architectural floor plans. *Automation in Construction*, 157, 105156. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105156>

Sean Gillies and Shapely contributors. (2025a). *Shapely 2.1.2*.
<https://shapely.readthedocs.io/en/stable/>

Sean Gillies and Shapely contributors. (2025b). *shapely.buffer*.
<https://shapely.readthedocs.io/en/2.1.1/reference/shapely.buffer.html>

Universidad Veracruzana. (2023). *Planos Arquitectónicos: Conceptos básicos, tipos y creación*.
<https://Lumen.Uv.Mx/Recursoseducativos/PlanosArquitectonicos/Descargables/Planosconceptos.Pdf>.

Vaswani, A., Brain, G., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (n.d.). *Attention Is All You Need*.

Zhong, H., Xiao, C., Tu, C., Zhang, T., Liu, Z., & Sun, M. (2020). *How Does NLP Benefit Legal System: A Summary of Legal Artificial Intelligence*. <http://arxiv.org/abs/2004.12158>

14 ANEXOS

ANEXO A: MANUAL TÉCNICO PARA ELABORACIÓN DE PLANOS ARQUITECTÓNICOS

Dirigido a: Profesionales y Personas que se dedican a Gestionar la autorización de Licencia de Obra en lo que respecta a planos Arquitectónicos.

ÍNDICE

1. [Introducción](#)
2. [Objetivo del Sistema](#)
3. [Requisitos Generales del Plano](#)
4. [Configuración de Capas](#)
5. [Dibujo de Elementos Arquitectónicos](#)
6. [Nomenclatura y Textos](#)
7. [Cuadro de Datos](#)
8. [Glosario](#)

1. INTRODUCCIÓN

Este manual establece los lineamientos técnicos para la elaboración de planos arquitectónicos que serán procesados por nuestro sistema de validación automática mediante Inteligencia Artificial (IA).

2. OBJETIVO DEL SISTEMA

El sistema de validación por IA tiene como finalidad:

1. **Automatizar la revisión** de planos arquitectónicos
2. **Identificar habitaciones** y calcular áreas automáticamente
3. **Validar cumplimiento** de la proyección de acuerdo con los reglamentos de construcción del Estado de Aguascalientes.
4. **Generar reportes** técnicos instantáneos
5. **Agilizar el proceso** de obtención de licencias

3. REQUISITOS GENERALES DEL PLANO

3.1 Formato de Archivo

Característica	Especificación
Formato	DXF o DWG (AutoCAD)
Versión recomendada	AutoCAD 2018 o superior
Unidades	Metros (decimal)
Sistema de coordenadas	Sistema métrico
Tamaño máximo	50 MB
3.2 Contenido Mínimo Obligatorio	
El archivo DXF/DWG debe contener:	
<ul style="list-style-type: none"> • Plantas arquitectónicas (todos los niveles) • Cortes arquitectónicos (mínimo 2) • Fachadas (principal y posterior mínimo) • Localización del predio • Cuadro de datos completo • Ejes estructurales • Acotaciones generales y por habitación • Niveles de piso terminado • Instalaciones básicas (hidráulica, sanitaria, eléctrica) 	
3.3 Escalas Permitidas	
Plano	Escala Recomendada
Plantas arquitectónicas	1:50 o 1:100
Cortes	1:50 o 1:100
Fachadas	1:50 o 1:100
Detalles	1:20, 1:10 o 1:5
Localización	1:500 o 1:1000

4. CONFIGURACIÓN DE CAPAS
4.1 Uso de capas obligatorias para la correcta lectura e identificación de zonas del proyecto, por parte del sistema
La siguiente tabla lista las capas CRÍTICAS que el sistema de IA utiliza para identificar habitaciones:

CAPA	USO	TIPO DE ENTIDAD	COLOR SUGERIDO
MUROS	Muros de carga y divisorios	LWPOLYLINE cerrada	Negro (7)
MUROS_BAJOS	Pretiles, antepechos	LWPOLYLINE cerrada	Gris (8)
PUERTAS_MADERA	Puertas de madera	LINE + ARC	Marrón (30)
PUERTAS_METALICAS	Puertas metálicas	LINE + ARC	Azul (5)
CANCELERIA	Ventanas, cancelas	LINE	Cian (4)
TEXTOS_HABITACION	Nombres de espacios	TEXT o MTEXT	Rojo (1)

4.2 Capas Complementarios Requeridos

CAPA	USO	TIPO DE ENTIDAD
CARPINTERIA	Muebles fijos	BLOCK o POLYLINE
HERRERIA	Barandales, rejas	LINE o POLYLINE
MUEBLES_SANITARIOS	WC, lavabo, regadera	BLOCK
MOBILIARIO_GENERAL	Muebles móviles	BLOCK
PROYECCIONES	Volados, aleros	POLYLINE punteada
PISOS	Cambios de nivel	HATCH
EJES	Ejes estructurales	LINE
COTAS	Acotaciones generales	DIMENSION
COTAS_HABITACIONES	Acotaciones interiores	DIMENSION
NIVEL_PISO	Nivel de piso terminado	TEXT
TEXTOS	Textos generales	TEXT o MTEXT
INSTALACION_HIDRAULICA	Red hidráulica	LINE
INSTALACION_SANITARIA	Red sanitaria	LINE
INSTALACION_PLUVIAL	Red pluvial	LINE
INSTALACION_ELECTRICA	Red eléctrica	LINE

CAPA	USO	TIPO DE ENTIDAD
VEGETACION	Árboles, plantas	BLOCK o HATCH

5. DIBUJO DE ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS

5.1 MUROS (CRÍTICO)

REQUISITO MÁS IMPORTANTE DEL SISTEMA

Los muros DEBEN dibujarse como **polígonos cerrados**, NO como líneas individuales.

Tolerancia máxima de separación entre extremos: 0.05 m (5 cm)

5.2 PUERTAS

Las puertas deben incluir **3 elementos**:

1. **Vano:** Hueco en el muro (parte del polígono del muro)
2. **Hoja:** Rectángulo que representa proyección de la puerta (polígono cerrado)
3. **Abatimiento:** Arco (ARC) que muestra el recorrido y dirección del abatimiento (hacia donde abre)

Capa PUERTAS_MADERA o PUERTAS_METALICAS

5.3 VENTANAS

Las capas de **CANCELERIA** y **VENTANAS** serán considerados como **ventanas**.

Especificaciones:

- **Representación:** Mostrar marco y abatimiento si aplica
- **Altura:** Indicar en corte arquitectónico (para conocer altura de muro bajo y cerramiento)

5.4 MUEBLES Y EQUIPAMIENTO

Elemento	Capa	Tipo
Muebles fijos	CARPINTERIA	BLOCK
WC, lavabo	MUEBLES_SANITARIOS	BLOCK
Cocina integral	CARPINTERIA	BLOCK
Closets	CARPINTERIA	BLOCK
Mesa, sillas	MOBILIARIO_GENERAL	BLOCK

6. NOMENCLATURA Y TEXTOS

6.1 Capa de Textos para Habitaciones

SEGUNDO REQUISITO MÁS CRÍTICO

Todos los nombres de habitaciones DEBEN estar en la capa:

TEXTOS_HABITACION

6.2 Ubicación de Textos

El **punto de inserción** del texto DEBE estar:

- DENTRO del polígono de la habitación
- Preferentemente en el centro

6.3 Nomenclatura Estandarizada

El sistema reconoce los siguientes nombres **EXACTOS** (sin tildes, con guiones bajos):

Áreas Sociales

SALA

COMEDOR

SALA_COMEDOR

ESTANCIA

SALA_COMEDOR_COCINA

Áreas Privadas

RECAMARA

RECAMARA PRINCIPAL

RECAMARA_1

RECAMARA_2

RECAMARA_3

VESTIDOR

Servicios

COCINA

COMEDOR_COCINA

BAÑO

BAÑO_1	
BAÑO_2	
BAÑO_3	
CTO_LAVADO	
CUARTO_DE_SERVICIO	
ALACENA	
BODEGA	
Circulaciones	
VESTIBULO	
PASILLO	
ESCALERA	
Exteriores y Complementos	
COCHERA	
ESTACIONAMIENTO	
GARAGE	
TERRAZA	
BALCON	
PORCHE	
PATIO	
JARDIN	
ROOF_GARDEN	
Niveles	
PLANTA_BAJA	
PLANTA_ALTA	
PLANTA_PRIMER_PISO	
PLANTA_AZOTEA	
SOTANO	
6.4 Formato de Texto	

Propiedad	Especificación
Tipo de fuente	Arial, Romans, Simplex
Altura	0.20 m a 0.30 m
Justificación	Centro-medio
Estilo	SIN TILDES, MAYÚSCULAS
Capa	TEXTOS_HABITACION

7. CUADRO DE DATOS

7.1 Ubicación

El cuadro de datos debe colocarse en:

- Una lámina independiente, o
- La primera hoja del juego de planos

7.2 Contenido Mínimo

El cuadro de datos debe incluir:

A) Identificación del Proyecto

- Tipo de obra (nueva/ampliación/remodelación)

B) Ubicación

C) Datos Catastrales

D) Propietario

E) Responsable del Proyecto

F) Características del Terreno

G) Coeficientes

- COS (Coeficiente de Ocupación del Suelo)
- CUS (Coeficiente de Utilización del Suelo)
- Área libre mínima (%)
- Cajones de estacionamiento

H) Cuadro de Áreas por Nivel

Nivel	Área Techada (m²)	Área No Techada (m²)	Total (m²)
Planta Baja	XX.XX m²	XX.XX m²	XX.XX m²
Planta Alta	XX.XX m²	XX.XX m²	XX.XX m²

Y así sucesivamente.

ADICIONALES MAS NO OBLIGATORIOS

J) Especificaciones Constructivas. (Esta información solo es necesaria para el cuadro de datos de planos estructurales si es que se anexan a la entrega, aunque no es obligatoria para desarrollo urbano) **Lo que sí es obligatorio es LA MEMORIA DE CALCULO ESTRUCTURAL.**

- Sistema estructural
- Tipo de cimentación
- Materiales de muros
- Tipo de losa
- Altura libre entre pisos
- Acabados principales

K) Instalaciones

- Hidráulica (ubicación de toma)
- Sanitaria (descarga a red/fosa)
- Pluvial (descarga)
- Eléctrica (acometida, capacidad)
- Gas (tipo, ubicación)

L) Cumplimiento Normativo

- Reglamento de Construcción Local (Libro Sexto del Código Mpal. de Ags.)
- NOM aplicables
- Accesibilidad universal
- Protección civil